

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROCESO DE CLARIFICACIÓN DE
AZÚCAR EN UNA REFINERÍA DE JARABE DE LA INDUSTRIA DE
EMBOTELLADO, ENTRE AZÚCAR REFINADA Y ESTÁNDAR.**

TESIS

**PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA**

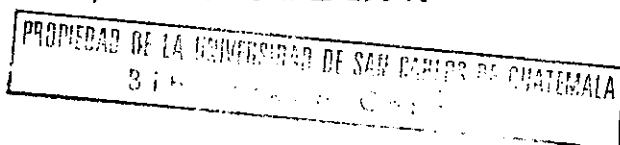
POR

SALVADOR SANDINO COLLADO ALFARO

AL CONFERÍRSELE EL TITULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, AGOSTO DE 1997.



08
T(3969)
C.4

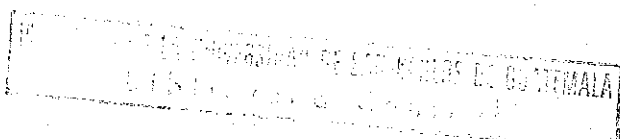
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROCESO DE CLARIFICACIÓN DE AZÚCAR EN UNA REFINERÍA DE JARABE DE LA INDUSTRIA DE EMBOTELLADO, ENTRE AZÚCAR REFINADA Y ESTÁNDAR.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 14 de abril de 1997.

Salvador Sandino Collado Alfaro



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA:

DECANO	ING. HERBERT RENÉ MIRANDA BARRIOS
VOCAL 1º	ING. MIGUEL ÁNGEL SÁNCHEZ GUERRA
VOCAL 2º	ING. JACK DOUGLAS IBARRA SOLÓRZANO
VOCAL 3º	ING. JUAN ADOLFO ECHEVERRÍA MÉNDEZ
VOCAL 4º	BR. VÍCTOR MANUEL LOBOS ALDANA
VOCAL 5º	BR. WAGNER GUSTAVO LÓPEZ CÁCERES
SECRETARIA	INGA. LICDA. GILDA CASTELLANOS DE ILLESCAS

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO**

DECANO	ING. JULIO ISMAEL GONZÁLEZ PODSZUECK
EXAMINADOR	ING. OTTO RENÉ DE LEÓN
EXAMINADOR	ING. JULIO CHÁVEZ MONTÚFAR
EXAMINADOR	ING. WILLIAM GUILLERMO ÁLVAREZ
SECRETARIO	ING. FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ LÓPEZ



Guatemala, 26 de mayo de 1997.

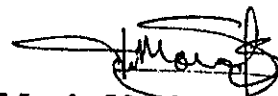
**Ingeniero
Julio Chávez Montúfar
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.**

Estimado ingeniero.

Por medio de la presente hago de su conocimiento que he asesorado el trabajo de tesis del estudiante Salvador Sandino Collado Alfaro; titulado: EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROCESO DE CLARIFICACIÓN DE AZÚCAR EN UNA REFINERÍA DE JARABE DE LA INDUSTRIA DE EMBOTELLADO, ENTRE AZÚCAR REFINADA Y ESTÁNDAR, para lo cual dejo constancia satisfactoriamente.

Agradeciendo la atención a la presente.

Atentamente:



**Ing. Mario Nephtali Morales Solís
Colegiado Número 647.**



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 3 de junio de 1,997.

Ingeniero
Julio Chávez Montúfar
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

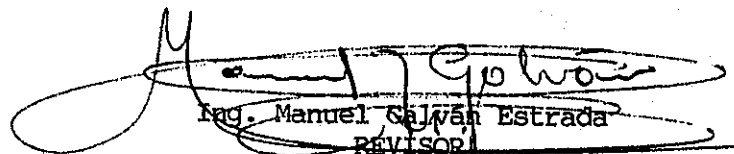
Estimado Ingeniero Chávez.

Por medio de la presente hago de su conocimiento, que he revisado el Informe Final de Tesis del estudiante **Salvador Sandino Collado Alfaro** titulado: **EVALUACION ECONOMICA DEL PROCESO DE CLARIFICACION DE AZUCAR EN UNA REFINERIA DE JARABE DE LA INDUSTRIA DE EMBOTELLADO, ENTRE AZUCAR REFINADA Y ESTANDAR**, habiendo sido satisfactorio, de constancia de mi aprobación.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Manuel Gilván Estrada
REVISOR



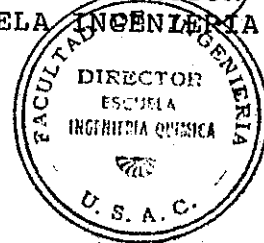
FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Química, Ing. Julio Chávez Montúfar, despues de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento, al trabajo del estudiante Salvador Sandino Collado Alfaro, titulado: **EVALUACION ECONOMICA DEL PROCESO DE CLARIFICACION DE AZUCAR EN UNA REFINERIA DE JARABE DE LA INDUSTRIA DE EMBOTELLADO, ENTRE AZUCAR REFINADA Y ESTANDAR**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Julio Chávez Montúfar
DIRECTOR
ESCUELA INGENIERIA QUIMICA



Guatemala, 12 de agosto de 1,997.



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de Tesis titulado: **EVALUACION ECONOMICA DEL PROCESO DE CLASIFICACION DE AZUCAR EN UNA REFINERIA DE JARABE DE LA INDUSTRIA DE EMBOTELLADO, ENTRE AZUCAR REFINADA Y ESTANDAR**, del estudiante **SALVADOR SANDINO COLLADO ALFARO**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:


Ing. Herbert Miranda Barríos
DECANO

Guatemala, 18 de agosto de 1,997.

DEDICATORIA

A: Guatemala; con fe en su futuro.

A: Universidad de San Carlos, especialmente a la Facultad de Ingeniería y su cuerpo docente.

A: Mis abuelos Antonio Alfaro Maldonado (Q.E.P.D.), María H. Sandoval y Victoria T. Collado Arriaza.

A: Mis padres, Profesora Consuelo Alfaro Sandoval y Lic. José Faustino Collado.

A: Mis hermanas, Sheila Larissa y Mayarí.

A: Padre Teodoro Gabrielli, por su amistad y apoyo.

A: Vinicio Rafael Santos Mazariegos (Q.E.P.D.), recuerdos imperecederos.

A: Mis amigos, en especial a Ana Isabel Girón, Ricardo De León Regil, José Gabriel May y Mario Morales; con amistad sincera.

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Mario Nephtalí Morales Solís, por su apoyo y dirección en el desarrollo de este trabajo de tesis.

Al Ing. Manuel Galván, por su valiosa ayuda en la revisión de este trabajo de tesis.

A Embotelladora Central S. A., por su aporte en la investigación y desarrollo de este trabajo de tesis.

INDICE

INTRODUCCIÓN	3
ANTECEDENTES	4
PROPIEDADES FISICAS Y FISICOQUIMICAS DE LOS AZUCARES A TRATAR Y REACTIVOS A UTILIZAR	4
TEORIA DEL TRATAMIENTO DE CLARIFICACION DEL AZUCAR PARA LA INDUSTRIA DE EMBOTELLADO	7
FILTRACIÓN	12
ADSORCION	16
JUSTIFICACION	23
OBJETIVOS	24
HIPOTESIS	25
RESULTADOS	26
DISCUSION DE RESULTADOS	27
CONCLUSIONES	33
RECOMENDACIONES	34
ANEXO 1: DATOS EXPERIMENTALES	35
ANEXO 2: RESULTADOS PARCIALES	36
ANEXO X: METODOLOGÍA	38
LOCALIZACIÓN	38
MATERIALES Y EQUIPO	39
CÁLCULO DE MUESTRA	40
METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	52
MANEJO DEL EXPERIMENTO	57
GLOSARIO	60
REFERENCIAS	62

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de tesis busca establecer que la alternativa de utilizar el azúcar tipo estándar, disponible en el mercado nacional, en el proceso de clarificación del jarabe simple con carbón activado, que tiene lugar en la industria de refrescos embotellados, es viable tanto técnica como económicamente.

El proceso de clarificación del jarabe simple con carbón activado, es un proceso que debe realizarse en las plantas de embotellado, con el fin de remover las impurezas que contiene el azúcar utilizado en la fabricación del jarabe, y de esa forma mantener los criterios de producción requeridos en la industria de embotellado. Este proceso depende de muchos factores, tales como: temperatura, agitación, medio de filtración, cantidad y tipo de agente adsorbente, tiempo de contacto adsorbente-solución de azúcar, calidad y cantidad de azúcar, capacidad del filtro pre-capta utilizado. El presente estudio se enfoca en la calidad refinado, y que el jarabe-simple producido en esta base cumple con los criterios de calidad requeridos en la industria de embotellado.

1. ANTECEDENTES

1.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y FISICOQUÍMICAS DE LOS AZÚCARES A TRATAR Y REACTIVOS A UTILIZAR

1.1.1 PROPIEDADES DEL AZÚCAR, REQUERIDAS POR LA INDUSTRIA EMBOTELLADORA

La sacarosa granulada y otros azúcares utilizados en la producción de bebidas carbonatadas deben ser manufacturados y almacenados bajo condiciones sanitarias apropiadas para un ingrediente comestible. Adicionalmente, la sacarosa debe cumplir todos los requisitos de regulación locales así como los estándares que establece la industria de embotellado a nivel mundial, siendo estos¹:

Pureza del azúcar:	No menos que 99.9% en peso
Sabores extraños:	Ninguno
Olor:	Ninguno
Color:	No más de 100 RBU (Unidades Base de Referencia)
Turbiedad:	Ninguna
Floc Potencial:	Debe pasar el test
Ceniza:	No más de 0.015% en peso
Sedimentos:	No más de 2 mg/ kg
Dioxido sulfuroso:	Menos de 6.0 mg/Kg
Humedad:	Menos de 0.04% en peso
Talofloc:	No más de 2 mg/kg en azúcar refinado por este proceso
Microbiológicos:	
Bacteria Mesofílica:	Menos de 200 en cada 10 gramos
Levadura:	Menos de 10 en cada 10 gramos
Granometría:	No más de 7.5% más fino que la malla número 65.

¹ Zapata, J.: Manual Practico de bebidas para la Industria de Refrescos

CARACTERÍSTICAS DEL AGUA TRATADA

Dureza Total:	120 ppm
Concentración Ión Calcio:	23 ppm
Alcalinidad P:	40 ppm
Alcalinidad M:	40 ppm
Oxígeno:	11.5 ppm
Anhídrico Carbónico:	17.4 ppm
Fosfato de Sodio:	5 ppm
Pentóxido de difosfato:	2.2 ppm
Cloro Libre:	5 ppm
Sulfito:	2.5 ppm
Hierro:	0 ppm
Ph:	7.59 a temp. De 25 grados °C.

CARACTERÍSTICAS DEL CARBÓN ACTIVADO²

Carbón Activado, tipo Filtrosorb 200, marca Calgon.

Apariencia:	Polvo negro
pH:	6.0 - 8.5
Actividad, azul de metileno:	24% mínimo
Actividad, melazas:	97% mínimo
Actividad, yodo:	78% mínimo
Humedad al empacarse:	12% máximo
Cenizas:	22% mínimo
Tamaño de partícula:	90% min. Pasa malla 200
Densidad aparente:	0.35 g/cc máximo
Area, base seca:	650 m ² /g
Volumen total de poro, base seca	1.0 ml/g

² Informaciones Técnicas Calgon. México, D.F.

CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO-AYUDA³

Tierras diatomeas, tipo Hyflo Supercel, marca Celite

Color:	Blanco
Densidad, base seca:	144 g/lit
Densidad, base húmeda:	303 g/lit
% Retención malla 150:	6
pH:	7
Peso específico:	2.30
Poros promedio:	7 micras
Velocidad relativa de flujo:	500

³ Informaciones Técnicas, Celite. México D.F.

TEORIA DEL TRATAMIENTO DE CLARIFICACION DEL AZUCAR PARA LA INDUSTRIA DE EMBOTELLADO

El proceso genérico de fabricación de bebidas carbonatadas se describe a través del siguiente diagrama de operaciones:

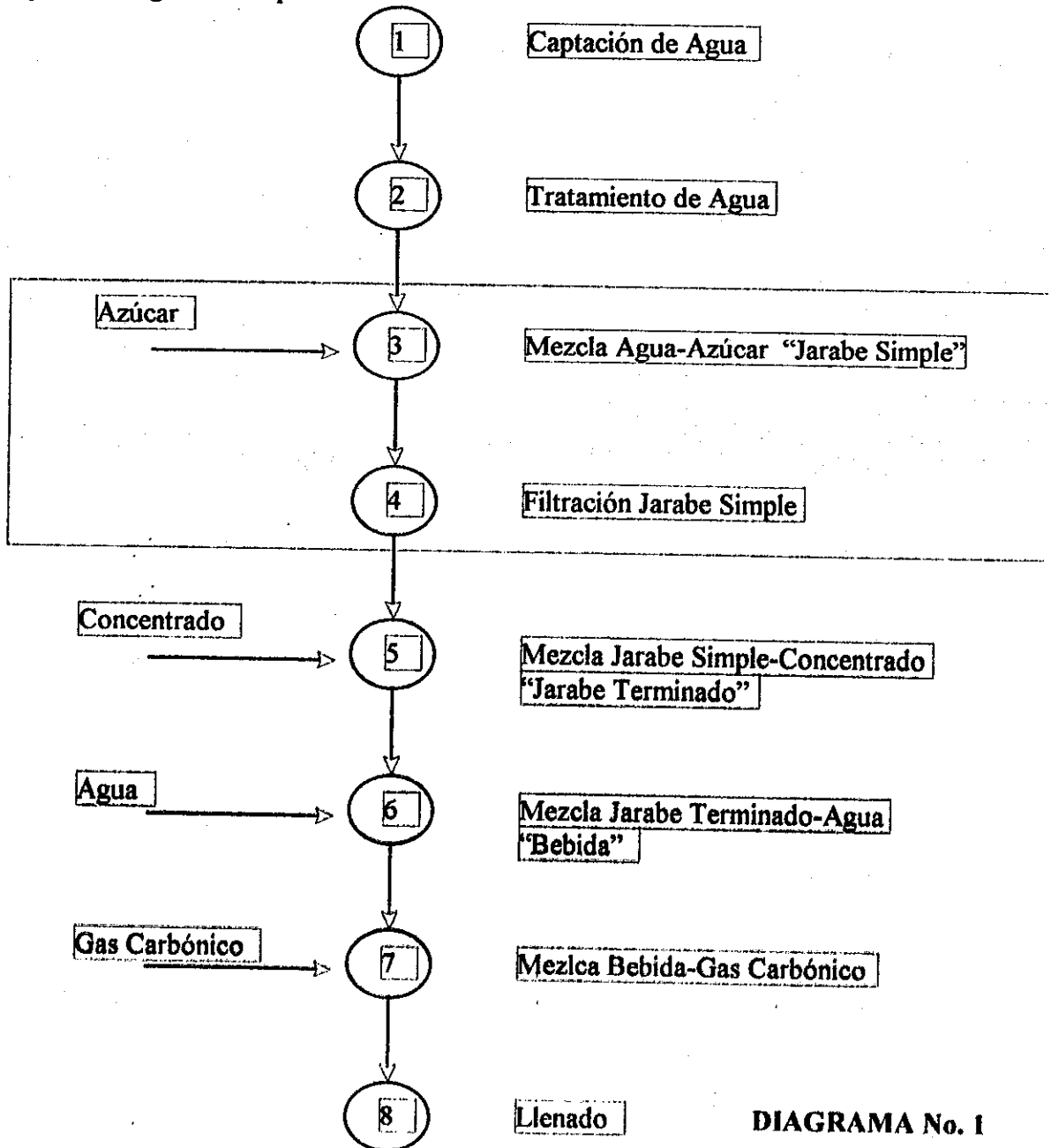


DIAGRAMA No. 1

El proceso de Clarificación tiene lugar en las operaciones que aparecen en el recuadro gris

El tratamiento de clarificación de azúcar en la industria de embotellado, involucra varias operaciones unitarias, tales como: mezclado, y filtración, así como el fenómeno de adsorción.

La mayor parte de los azúcares granulados contienen materias extrañas tales como polisacáridos no solubles, que forman sedimentos y turbiedades. Estos afectan el aspecto del producto final, al formar anillos en el cuello de la botella, o precipitados en el fondo de la misma. Pudiendo así también causar pérdida de carbonatación. Los anteriores sedimentos y turbiedades se eliminan en el proceso de filtración.

Otras impurezas frecuentemente presentes en el azúcar lo constituyen las cenizas. Estas se deben a las sales inorgánicas que contiene el azúcar. Normalmente, las cenizas no afectan directamente el producto final, pero, si su cantidad es mayor que 0.015% en peso, pueden dar a éste un sabor salado, o causar precipitación. Solo un proceso de refinación muy completo puede eliminar las cenizas. El proceso de refinación de azúcar es factible únicamente en las refinerías de azúcar.

La eliminación de las impurezas presentes en los azúcares, se lleva a cabo mediante el proceso de clarificación, el cual se basa en un tratamiento en caliente con carbón activado. El color del azúcar, uno de los mejores indicadores de su calidad, se mide en RBU's (Reference Basic Units = Unidades Básicas de Referencia). A mayor número de RBU's, más oscuro es el azúcar. Generalmente los azúcares refinados de alta calidad contienen menos de 35 RBU's. El tratamiento en caliente con carbón activado elimina los componentes del color presentes en el azúcar, así como el sabor y el olor a melaza presentes en los azúcares no refinados. El tratamiento en caliente con carbón no es un proceso con el nivel de efectividad, en lo que a remoción de impurezas se refiere, en comparación con los procesos que se observan en las refinerías de azúcar.

Los polisacáridos que provocan flóculos y los anillos en el cuello de las botellas anteriormente mencionados son también eliminados en el tratamiento en caliente con carbón activado.

El tratamiento en caliente con carbón activado se basa en agregar carbón activado al jarabe simple y luego removerlo. El carbón activado tiene una gran superficie lo cual aumenta su capacidad de adsorción, lo que facilita la eliminación de las impurezas en este proceso. La adsorción como se describe en la siguiente sección es la adhesión de partículas a la superficie de un sólido.

Cuatro son los factores que influyen en la efectividad del proceso de clarificación de azúcar en caliente con carbón activado.

- El área de superficie :

Al aumentar el área de la superficie del carbón activado aumenta la eficacia con que el carbón elimina impurezas. Esto se logra utilizando carbón activado de un tamaño de partícula menor. Visto al microscopio las partículas de carbón activado muestran muchísimos microporos, o huecos, los cuales dan al carbón una gran superficie, entre un rango de 500 a 1500 metros cuadrados por gramo. Sin

embargo, si las partículas de carbón activado son demasiado pequeñas, la filtración de éste se torna técnicamente impracticable.

- El tiempo de contacto:

Con el fin de que las impurezas presentes en la solución del azúcar se adhieran o sean adsorbidas en la superficie de las partículas del carbón activado, se requiere que exista un contacto físico entre la impureza y el carbón activado durante una cierta cantidad de tiempo. La determinación del tiempo de contacto es una variable que se establece en base a la experiencia, y generalmente se encuentra en el rango de 15-30 minutos.

- La agitación:

El objeto de la agitación es el causar turbulencia que propicie el contacto entre las impurezas presentes en la solución y las superficies de carbón activado, aumentando así la eficacia del fenómeno de adsorción.

- La temperatura:

La temperatura y la adsorción guardan entre sí una relación de proporcionalidad directa. Al presentarse un aumento en la temperatura, se tiene una disminución en la viscosidad del jarabe simple, lo cual facilita el proceso de mezcla. El aumento de temperatura produce también, un incremento en la frecuencia de contacto entre las impurezas y la superficie de las partículas de carbón activado presentes en el jarabe Simple.⁴

Una alta temperatura añade también los beneficios de la pasteurización de la solución del azúcar, al inhibir la contaminación microbiológica, además al presentarse una disminución en la viscosidad de la solución de azúcar, se tienen mejores rendimientos en el proceso de filtración.

El equipo necesario para la clarificación del jarabe simple, es esencialmente el mismo utilizado en la fabricación de este, y aunque presenta ligeras variaciones de embotellador a embotellador, las funciones básicamente son las mismas (Ver Figura No. 1), Un tanque de tratamiento, un filtro pre-capas, un tanque de pre-capas y tanque receptor.

El tanque de tratamiento puede ser un tanque enchaquetado o un intercambiador de calor. Es preferible contar con un intercambiador de calor, ya que, normalmente es más económico, más fácil mantener, y puede acelerar el tiempo de proceso considerablemente.

⁴ Fisicoquímica, Castellán capítulo 19

El filtro pre-capa debe de tener una capacidad suficiente para acomodar la torta, el filtro-ayuda y el carbón activado.

El tanque receptor para almacenar el jarabe simple fabricado, este tanque debe de contar con un intercambiador de calor de placas en su parte superior, sección por donde ingresa el jarabe simple. La función del intercambiador de calor radica en enfriar el jarabe simple a una temperatura de 25°C.

El tanque pre-capa únicamente debe de cumplir con las normas sanitarias que establecen las leyes locales, respecto al manejo de comestibles.

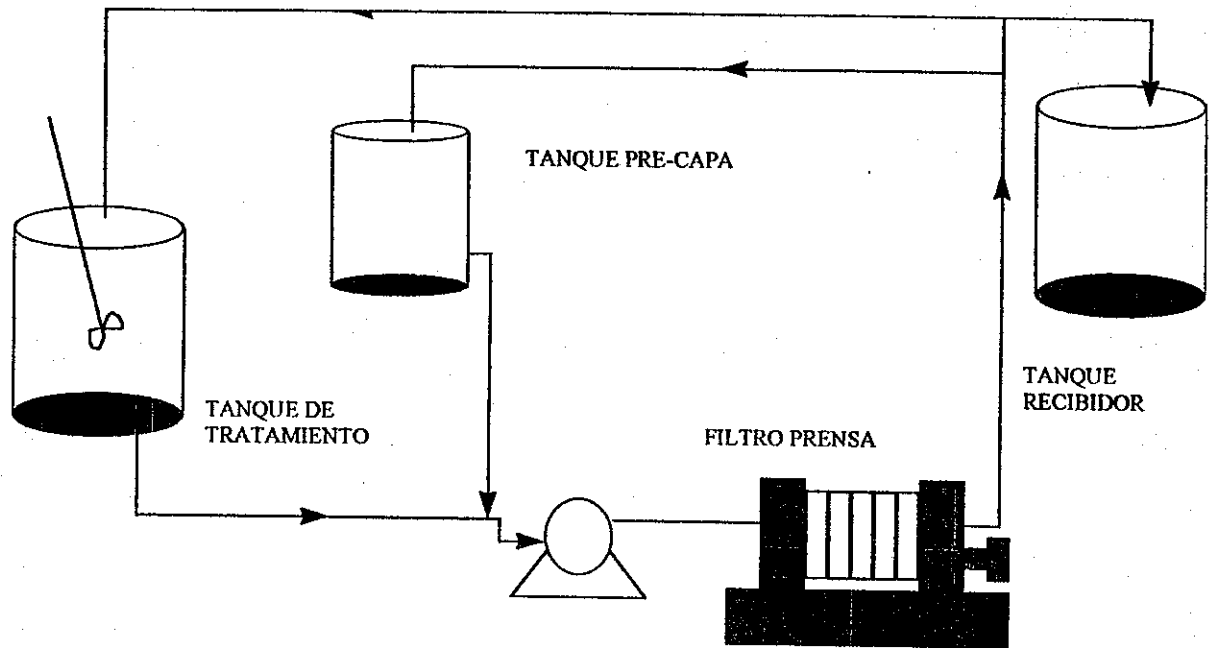


Figura No. 1

El tratamiento de clarificación tiene lugar entre las operaciones 3 y 4 del diagrama de operaciones presentado en esta sección (Ver Diagrama No.1)

La operación 3 descrita como **Mezcla Agua - Azúcar**, es conocida en la industria de embotellado como **Preparación de Jarabe Simple**. Esta operación se realiza íntegramente en el tanque denominado tanque de tratamiento (Ver Figura No.1). Se agrega un volumen determinado de agua tratada al tanque de tratamiento, y a continuación se calienta a una temperatura de 80°C.

Existen dos métodos utilizados en la etapa de adición de agua al tanque de tratamiento, estos son:

- El método más exacto para la adición de agua es el método del peso. Este requiere que el tanque de mezcla este montado en una balanza. Por medio de la escala de la balanza se pesa el tanque vacío y se adiciona la cantidad de agua deseada hasta lograr la lectura de un determinado peso en la escala de la balanza.
- Otro método utilizado es método de la varilla, un especial cuidado se requiere cuando se utiliza este método, primero la varilla siempre debe de estar en posición vertical y debe, en cada medición, estar siempre colocada en la misma posición en el tanque.
- Método de la mirilla, el cual consiste en conectar desde la parte inferior del tanque hasta la parte superior del mismo, un tubo de vidrio con escala, la cual debe ser calibrada de acuerdo a las dimensiones del tanque. Este método se basa en el principio físico de vasos comunicantes, que establece que a un mismo nivel horizontal, dos diferentes puntos, tendrán o estarán sometidos a presiones iguales, si los recipientes que los contienen se encuentran unidos en su base a través de un tubo. Los recipientes no necesitan ser del mismo tamaño, ni poseer la misma forma.⁵

Una vez el peso o volumen correcto de agua tratada está en el tanque de tratamiento, se inicia la agitación, así como también la adición del azúcar. No se debe agregar el azúcar a mayor rapidez que la cantidad de azúcar que puede disolver por la acción de agitación. Es necesaria una efectiva agitación para mezclar el azúcar en la solución y para evitar que ésta se deposite en el fondo del tanque.

El azúcar debe ser siempre pesado con exactitud. Cuando se pesa azúcar empacada, se debe de sustraer el peso de las bolsas del azúcar vacías del peso total, con el fin de determinar el peso neto exacto de azúcar que realmente se agregó.

La agitación debe continuar hasta que al azúcar se haya disuelto por completo. En base a la experiencia se determina el tiempo necesario para tener la disolución completa (generalmente entre 25-30 minutos después de finalizada la adición del azúcar).

⁵ Alvarenga B. y Máximo A.: Física General, México, 1988.

1.2.1 FILTRACIÓN

Filtración es la separación de partículas sólidas a partir de un fluido haciendo pasar el fluido a través de un medio filtrante sobre el que se depositan los sólidos. Las filtraciones industriales van desde un sencillo colado hasta separaciones altamente complejas. El fluido puede ser un sólido o un gas, y la corriente valiosa procedente de un filtro puede ser el fluido, los sólidos o ambos productos. En algunos casos pueden carecer de valor ambas corrientes, como es el caso de la separación de sólidos residuales de un fluido residual antes de su vertido. En la filtración industrial el contenido de sólidos de la alimentación puede oscilar desde trazas hasta un porcentaje muy elevado. Con frecuencia la alimentación se modifica de alguna forma mediante un pretratamiento, a fin de aumentar la velocidad de filtración, como el calentamiento, recristalización o adición de un coadyuvante de filtración, tal como la celulosa, yeso o tierras diatomeas. Debido a la enorme variedad de materiales que se ha de filtrar y las diferentes condiciones de operación de los procesos, se ha desarrollado numerosos tipos de filtros⁶, algunos de los cuales se describen más adelante.

El fluido circula a través del medio filtrante en virtud de una diferencia de presión a través del medio. Así, los filtros se clasifican atendiendo a este aspecto en los que operan con una sobrepresión aguas arriba del medio filtrante, los que lo hacen con presión atmosférica agua arriba del medio filtrante y aquellos que presentan vacío aguas abajo. Presiones superiores a la atmósfera pueden generarse por acción de la fuerza de gravedad actuando sobre una columna de líquido, por medio de un abomba o soplante, o bien por medio de fuerza centrífuga. En un filtro de gravedad el medio filtrante puede no ser más fino que un tamiz grueso o un lecho de partículas gruesas tales como arena. Por tanto, en sus aplicaciones industriales los filtros de gravedad están restringidos a la separación de las aguas madres de cristales muy gruesos, a la clarificación de agua potable y al tratamiento de aguas residuales.

La mayoría de los filtros industriales son filtros de presión o de vacío. Pueden ser también continuos o discontinuos, dependiendo de que la descarga de los sólidos filtrados se realice de forma continua o intermitente. Durante buena parte del ciclo de operación de un fluido discontinuo el flujo del fluido a través del mismo es continuo, habiéndose de interrumpirse periódicamente para permitir la descarga de los sólidos acumulados. En un filtro continuo la descarga de los sólidos y el fluido se realiza de forma ininterrumpida mientras el equipo se encuentra en operación.

Los filtros se dividen en dos grandes grupos: filtros clarificadores y filtros de torta. Los clarificadores retiran pequeñas cantidades de sólidos para producir un gas claro o líquidos transparentes, tales como bebidas. Los filtros de torta separan grandes cantidades de sólidos en forma de una torta de cristales o un lodo. Con frecuencia

⁶ Svarovsky, L. Chem. Eng., vol. 86, 1979

incluyen dispositivos para el lavado de los sólidos y para eliminar la mayor parte posible residual antes de su descarga.

1.2.1.1 FILTROS CLARIFICADORES

Los filtros clarificadores se denominan también filtros de lecho profundo ya que las partículas del sólido en el interior del medio filtrante, no observándose, en general, una capa de sólidos sobre la superficie del medio filtrante. La clarificación difiere del tamizado en que los poros del medio filtrante son de un diámetro mucho mayor que las partículas retenidas. Las partículas son captadas por las fuerzas superficiales e inmobilizadas dentro de los canales de flujo, tal como puede apreciarse en la figura No. 2. Aún cuando reducen el diámetro efectivo de los canales, normalmente, no llegan a bloquearlos completamente.

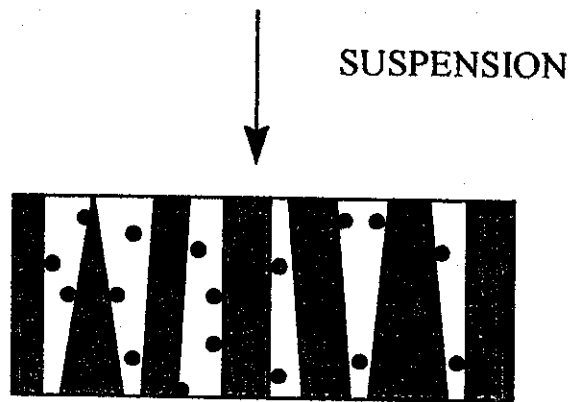


Figura No. 2

1.2.1.2 FILTROS DE TORTA

En este tipo de filtros el medio filtrante es relativamente delgado en comparación con el filtro clarificador. Al comienzo de la filtración algunas partículas sólidas entran en los poros del medio filtrante y quedan inmobilizadas, pero rápidamente empiezan a ser recogidas sobre la superficie del medio filtrante. Después de un breve período inicial la torta de sólidos es la que realiza la filtración y no el medio filtrante. Sobre la superficie se forma una visible torta de espesor apreciable que es preciso retirar periódicamente.

Los filtros de torta se utilizan casi siempre para separaciones sólido líquido. Como en el caso de otros filtros, pueden operar con una presión superior a la atmósfera aguas arriba del medio filtrante o con vacío aplicado aguas abajo.

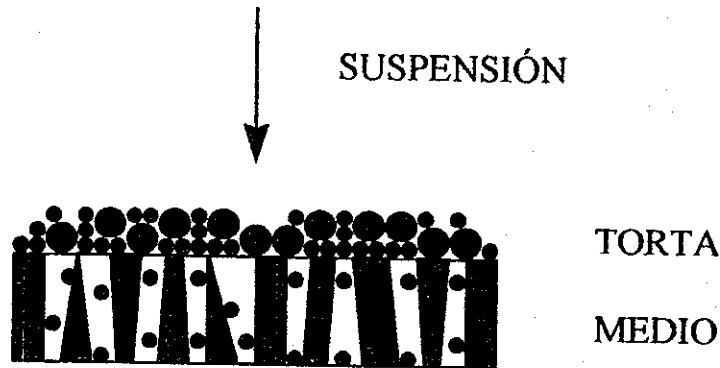


Figura No. 3

1.2.1.3 FILTRO PRENSA

Un filtro prensa contiene un conjunto de placas diseñadas para proporcionar una serie de cámaras o compartimentos en los que se pueden recoger los sólidos. Las placas se recubren con un medio filtrante tal como una lona. La suspensión se introduce en cada compartimiento bajo presión; el líquido pasa a través de la lona y sale a través de una tubería dejando detrás una torta húmeda de sólidos. Las placas de un filtro prensa pueden ser cuadradas o circulares, verticales u horizontales. Lo más frecuente es que los compartimentos para sólidos estén formados por huecos en las caras de placas de polipropileno moldeado. En otros diseños el filtro está formado por placas o marcos. Las placas y los marcos se sitúan verticalmente en un bastidor metálico, con telas cubriendo las caras de cada marco, y se acoplan estrechamente entre sí por medio de un tornillo o una prensa hidráulica. La suspensión entra por un extremo del ensamblaje de placas y marcos. Pasa a través de un canal que recorre longitudinalmente el ensamblaje por una de las esquinas de las placas y marcos.

Una vez instalado el filtro prensa, se introduce la suspensión por medio de una bomba a una presión de 3 a 10 atm. La filtración continúa hasta que ya no sale líquido por el tubo de descarga o bien aumenta bruscamente la presión de filtración. Esto ocurre cuando las placas se llenan de sólido y ya no puede entrar más suspensión. Se puede entonces pasar líquido de lavado para eliminar las impurezas solubles contenidas en los sólidos, y a continuación insuflar aire o vapor de agua para

desplazar la mayor parte de líquido residual. Se abre entonces la prensa y se retira la torta de sólidos, pasándola a un transportador o a un depósito de almacenamiento.⁷

1.2.1.4 FILTRACION DEL JARABE SIMPLE

Todo lote de jarabe Simple debe de filtrarse con el objeto de remover partículas extrañas que pueden introducirse durante la fabricación industrial y empaque del azúcar.

Medio de Filtración:

El medio de filtración utilizado debe ser inerte a la solución de jarabe Simple, así como estar libre de partículas de asbesto y fibra de vidrio. Además debe ser capaz de poder filtrar Jarabe Simple tanto caliente o frío.

El tipo filtro a utilizar depende de la calidad de azúcar utilizada en el proceso. Un medio de la filtración que remueva partículas de dimensiones de hasta 20 micrómetros es usualmente suficiente cuando se procesa azúcar refinado. Para azúcares de calidades inferiores se requiere que el filtro pueda remover partículas de hasta 5 micrómetros

Los siguientes lineamientos aplican en la utilización de los distintos medios de filtración:

Papel filtro:

Cada vez que un papel filtro sea utilizado debe de desecharse, excepto cuando el papel filtro sea utilizado en el procesamiento de lotes consecutivos de jarabe Simple en un mismo día.

Filtro-ayuda:

Debe de desecharse el filtro-ayuda al final de cada lote producido, excepto cuando el filtro-ayuda se utiliza para producir lotes sucesivos.

Malla del acero inoxidable y filtro - ayuda:

Se debe desechar el filtro-ayuda al final de procesar cada lote, excepto cuando este filtro sea utilizado para procesar lote sucesivo el mismo día. La malla del acero inoxidable debe ser esterilizada a 85°C diariamente.

Filtros pulidor de candelas:

Los Filtros pulidores deben ser lavados con agua tratada después de la filtración de cada lote. El filtro debe ser esterilizado a 85°C en una base diaria cuando se producen lotes sucesivos.

⁷ McCabe W., Smith J.: Operaciones Básicas de Ingeniería Química

1.2.2 ADSORCIÓN

Las operaciones de adsorción explotan la capacidad especial de ciertos sólidos para hacer que sustancias específicas de una solución se concentren en la superficie de la misma. De esta forma, pueden separarse unos de otros los componentes de soluciones gaseosas o líquidas. Unos cuantos ejemplos indican la naturaleza general posible de las separaciones y al mismo tiempo la gran variedad de aplicaciones prácticas. En el campo de las separaciones gaseosas, la adsorción se utiliza para deshumidificar aire y otros gases, para eliminar olores e impurezas desagradables de gases industriales como Dioxido de carbono, para recuperar vapores valiosos de disolventes a partir de mezclas diluidas con aire y otros gases y para fraccionar mezclas de gases de hidrocarburos que contienen sustancias como metano, etileno, etano, propileno y propano. Las separaciones típicas de líquidos incluyen la eliminación de humedad disuelta en gasolina, decoloración de productos del petróleo y soluciones acuosas de azúcar, eliminación de sabor y olor desagradables del agua y fraccionamiento de mezclas de hidrocarburos aromáticos y parafínicos. La escala de operación va desde el uso de unos cuantos gramos de adsorbente en el laboratorio hasta las plantas industriales, cuyo inventario de adsorbente excede los 135,000 Kg.

Todas las operaciones de adsorción son similares en que la mezcla por separar se pone en contacto con otra fase insoluble, el sólido absorbente, y en que la distinta distribución de los componentes originales entre la fase adsorbida en la superficie sólida y el fluido permite que se lleve a cabo la separación. Se tienen separaciones por lotes o en una sola etapa, separaciones continuas en varias etapas y separaciones análogas a la absorción y desorción a contracorriente en el campo del contacto gas-líquido y a la rectificación y extracción mediante reflujo. Además, la rigidez e inmovilidad de un lecho de partículas adsorbentes sólidas hace posible la útil aplicación de los métodos semicontinuos, que de ninguna manera son aplicables cuando se ponen en contacto dos fluidos.⁸

1.2.2.1 TIPOS DE ADSORCIÓN

Se debe distinguir para principiar entre dos tipos de fenómenos de adsorción: físicos y químicos.

La adsorción física, o adsorción de "Van der Waals", es un fenómeno fácilmente reversible, es el resultado de las fuerzas intermoleculares de atracción entre las moléculas del sólido y la sustancia adsorbida. Por ejemplo, cuando las fuerzas atractivas intermoleculares entre un sólido y un gas mayores que las existentes entre moléculas del gas mismo, el gas se condensará sobre la superficie de sólido, aunque su presión sea mayor que la presión de vapor que corresponde a la temperatura

⁸ Brunauer, Emmett and Teller, J. Am. Chem. Soc.

predominante. Cuando ocurra esta condensación, se desprenderá cierta cantidad de calor, que generalmente será algo mayor que el calor latente de evaporación y similar al calor de sublimación del gas. La sustancia adsorbida no penetra dentro de la red cristalina ni se disuelve en ella, sino que permanece totalmente sobre la superficie. Sin embargo, si el sólido es muy poroso y contiene muchos pequeños capilares, la sustancia absorbida penetra en éstos intersticios si es que la sustancia humedece al sólido. La presión de vapor en el equilibrio de una superficie líquida, cóncava y de radio de curvatura muy pequeño, es menor que la presión de una superficie plana; la extensión de la adsorción aumenta por consecuencia. En cual caso, la presión parcial de la sustancia adsorbida es igual, en el equilibrio, a la presión de la fase gaseosa en contacto; disminuyendo la presión de la fase gaseosa a aumentando la temperatura, el gas adsorbido se elimina fácilmente o se desorbe en forma invariable. Las operaciones industriales de adsorción, del tipo que se va a considerar, dependen de su reversibilidad para recuperar el adsorbente (que se vuelve a utilizar), para la recuperación de las sustancia adsorbida o para el fraccionamiento de mezclas. La adsorción reversible no se concreta a los gases, también se observa en el caso de los líquidos.

Quemisorción, o adsorción activa, es el resultado de la interacción química entre el sólido y la sustancia adsorbida. La fuerza de la unión química puede variar considerablemente y puede suceder que no se formen compuestos químicos en el sentido usual, empero, la fuerza de adhesión es generalmente mucho mayor que la observada en la adsorción física. El calor liberado durante la quemisorción es comúnmente grande, es parecido al calor de una reacción química. El proceso frecuentemente es irreversible; en la desorción, de ordinario se descubre que la sustancia original ha sufrido un cambio químico. La misma sustancia, que en condiciones de baja temperatura, sufrirá esencialmente solo la adsorción física sobre un sólido, algunas veces exhibe quemisorción a temperaturas más elevadas; además los dos fenómenos pueden ocurrir al mismo tiempo.

1.2.2.2 NATURALEZA DE LOS ADSORBENTES

Los sólidos adsorbentes por lo general se utilizan en forma granular; varían de tamaño: desde aproximadamente 12 mm de diámetro hasta granos tan pequeños de 50 μ . Los sólidos deben poseer ciertas propiedades relativas a la Ingeniería, según la aplicación que se les vaya a dar. Si se utilizan en un lecho fijo a través del cual va a fluir un líquido o un gas, por ejemplo, no deben de ofrecer una caída de presión de flujo muy grande, ni deben de ser arrastrados con facilidad por la corriente que fluyen. Deben tener una adecuada consistencia para que no se reduzca su tamaño al ser manejados o para que no se rompan al soportar su propio peso en lechos del espesor requerido. Si se van a sacar y meter con frecuencia de los recipientes que los contienen, deben fluir libremente. Estas son propiedades fácilmente reconocibles.

Solo ciertos sólidos exhiben la suficiente especificidad y capacidad de adsorción para ser útiles como adsorbentes industriales. Puesto que los sólidos poseen frecuentemente una capacidad muy específica para absorber grandes cantidades de ciertas sustancias, es evidente que la naturaleza química del sólido tiene mucho que ver con sus características de adsorción. Empero, la Simple identidad química no es suficiente para caracterizar su utilidad. En la extracción líquida, todas las muestras de acetato de butilo puro tienen la misma capacidad para extraer ácido acético de una solución acuosa. Esto no es cierto para las características de adsorción de la sílica gel con respecto al vapor de agua, por ejemplo. Influyen demasiado su método de fabricación y sus antecedentes de adsorción y desorción.

Parece esencial una gran superficie por unidad de peso para todos los adsorbentes útiles. En particular, en el caso de la adsorción de gases, la superficie significativa no es la superficie total de las partículas granulares que generalmente se utilizan, sino la superficie mucho mayor de los poros internos de las partículas. Los poros generalmente son muy pequeños, algunas veces de unos cuantos diámetros moleculares de ancho, pero su gran número proporciona una enorme superficie para la adsorción. Por ejemplo, se calcula que el carbón típico de una máscara de gases tiene una superficie efectiva de 1,000,000 m²/Kg. Hay muchas otras propiedades que son evidentemente de gran importancia y que no se comprenden totalmente; se tiene que depender en gran medida de la observación empírica para reconocer la capacidad de adsorción. La siguiente lista presenta los principales adsorbentes de uso general.

Tierras de fullear, Son arcillas naturales, principalmente son silicatos de aluminio y magnesio, bajo la forma de atapulguita y montmorillonita. Los tamaños que se consiguen comercialmente van desde grandes gránulos hasta polvos finos. Las arcillas son particularmente útiles para decolorar, neutralizar y secar productos de petróleo como aceites lubricantes, aceites de transformador, querosenos y gasolinas.

Arcillas activadas, son bentonitas u otras arcillas que no presentan ningún poder de adsorción hasta que se activan mediante el tratamiento con ácido sulfúrico o clorhídrico. Es particularmente útil para decolorar productos de petróleo; generalmente se descarta después de una sola aplicación.

Bauxita, es cierta forma de alúmina hidratada natural que debe activarse mediante calentamiento a temperaturas que varían entre 450 a 1500°F. Se utilizan para decolorar productos de petróleo y para secar gases.

Alúmina, es un óxido de aluminio hidratada, duro, que se activa por calentamiento para eliminar la humedad, se utiliza principalmente como desecante de gases y líquidos.

Carbón de hueso, se obtiene mediante la destilación destructiva de huesos pulverizados y secos a temperaturas de 600 a 900°C. Se utiliza principalmente en la refinación de azúcar.

Adsorbentes poliméricos sintéticos, son perlas esféricas porosas, 0.5 mm de diámetro; cada perla es un conjunto de microesferas, 10;□ mm de diámetro. El material es sintético, fabricado de monómeros polimerizables de dos tipos principales. Los fabricados a partir de aromáticos insaturados como estireno y divinilbenceno y los fabricados a partir de ésteres acrílicos.

Silica Gel, es un producto muy duro, granular, muy poroso; se prepara a partir de gel precipitado por tratamiento ácido de una solución de silicato de sodio. Su contenido de humedad antes de utilizarse varía del 4 al 7% más o menos; se utiliza principalmente para la deshidratación del aire y otros gases, en máscaras de gases y para el fraccionamiento de hidrocarburos.

1.2.2.3 CARBÓN ACTIVADO

Esencialmente, el carbón activado es carbón de leña que ha sido sometido bajo procesos de calor y vapor con el fin de mejorar sus propiedades de adsorción. El carbón activado que se usa para la clarificación del azúcar proviene de materiales de madera tal como, cascara de coco, turba, cascara de nuez, o maíz. Posee una superficie efectiva, la cual se encuentra entre 500 a 1500 metros cuadrados por gramo.

El carbón activado es un material con una estructura porosa y por lo tanto con un elevado poder de adsorción, esto se debe principalmente al efecto de dispersión de las fuerzas de Van der Waals. Por esta razón los carbones activados dependiendo de su tipo pueden adsorber casi cualquier tipo de molécula.

El carbón activado ha llegado a ser uno de los adsorbentes más importantes y más ampliamente usados por su enorme capacidad de adsorción. Existe una gran variedad de carbones activados, dependiendo principalmente de la materia prima de que se parte y el proceso de activación utilizado.

El proceso de fabricación más utilizado consiste en mezclar aserrín de madera y ácido fosfórico en proporciones preestablecidas. Las celulosas y otros compuestos presentes en el aserrín de madera se degradan por la presencia del ácido fosfórico. La mezcla se lleva en un horno rotativo en donde toma lugar una descomposición pirolítica de la misma. Es precisamente en esta etapa del proceso que toma lugar la activación propiamente dicho.

Como se ha mencionado, la materia prima orgánica consiste fundamentalmente de celulosa. La celulosa es un conjunto de macromoléculas alargadas con una longitud media de 18.00 Angstroms están orientadas en dirección del eje longitudinal y formando aglomerados conocidos como "micelas". Estas cadenas moleculares orientadas, están unidas lateralmente por ligaduras de diferentes tipos y resistencias. El ácido fosfórico, por otra parte hace que la celulosa se hinche, durante este hinchamiento, el arreglo molecular en el eje longitudinal permanece sin cambio pero las ligaduras laterales se rompe, dando como resultado el aumento de espacios vacíos -poros- adentro y afuera de estas "micelas". Simultáneamente se llevan a efecto otras reacciones por las cuales las macromoléculas son gradualmente depolimerizadas. Otro aspecto de la acción del ácido fosfórico son las reacciones que alteran la naturaleza química de la celulosa, como la deshidratación entre otras, que siempre acompaña la descomposición por calentamiento de los materiales orgánicos y previene la formación de la ceniza como un producto no carbonizado.

Después que la mezcla de aserrín con ácido fosfórico deja el calcinador, ya se tiene el material activado pero con un contenido alto de ácido fosfórico por lo que es necesario lavarlo, esto se lleva a efecto a un filtro prayón de donde se obtiene, gracias a muchos lavados de agua, un carbón activado con una acidez libre muy reducida. Posteriormente este producto se lleva a un secador rotatorio, para que el material pueda ser neutralizado con hidróxido de sodio o hidróxido de calcio dependiendo de la aplicación que finalmente se le quiera dar al carbón activado.⁹

NOTA: Este carbón activado no es el mismo que se utiliza en los procesos de tratamientos de agua.

⁹ Hassler, J.W.: Purification with Activated Carbono

1.2.2.4 ADSORCION EN SOLIDOS

Cuando un adsorbente sólido se sumerge en un líquido puro, la evolución de calor, conocida como el calor de humectación, prueba de que ocurre la adsorción del líquido. No obstante, la inmersión no proporciona un método efectivo para medir la extensión de la adsorción. El volumen del líquido no muestra un cambio apreciable que pudiera utilizarse para medir la adsorción; asimismo, la separación del sólido y su pesado no permitirá distinguir entre el líquido que se adsorbió y el que está mecánicamente ocluido.

Adsorción del soluto a partir de soluciones diluidas

Cuando un adsorbente se mezcla con una solución binaria, ocurre tanto la adsorción del soluto como del disolvente. Puesto que la adsorción total no se puede medir, se determina, en lugar de ésta, la adsorción relativa o aparente. El procedimiento acostumbrado es tratar un volumen conocido de solución con un peso conocido de adsorbente, v volumen solución/masa adsorbente. Como resultado de la adsorción preferente de soluto, se observa que la concentración del soluto del líquido cae del valor inicial c_0 al valor final en el equilibrio c^* masa soluto/volumen líquido. La adsorción aparente de soluto, despreciando cualquier cambio de volumen en la solución, es $v(c_0 - c^*)$ masa soluto adsorbido/masa adsorbente. Lo anterior es válido cuando es pequeña la fracción de disolvente original que puede adsorberse.

La adsorción aparente de un soluto dado depende de la concentración del soluto, la temperatura, el disolvente y el tipo de adsorbente. En la Figura No. 2 se muestran isothermas típicas de adsorción. El grado de adsorción de un soluto determinado prácticamente decrece siempre que aumenta la temperatura; generalmente es mayor cuando menor es la solubilidad en el disolvente.

La ecuación de Freundlich

En un rango pequeño de concentración, las isothermas de adsorción pueden describirse a menudo mediante una expresión empírica, que generalmente se le atribuye a Freundlich,

$$c^* = k [v (c_0 - c^*)]^n$$

en donde $v (c_0 - c^*)$ es la adsorción aparente por masa unitaria de adsorbente; k y n son constantes. Con frecuencia, se utilizan también otras unidades de concentración; aunque estas unidades inducirán valores diferentes de k , con respecto a las soluciones diluidas para las cuales se puede aplicar la ecuación, el valor de n permanecerá invariable.

Con frecuencia, la ecuación de Freundlich también es útil cuando se ignora la identidad real del soluto, como en la adsorción de sustancias coloradas en materiales como soluciones de azúcar y aceites minerales o vegetales. En estos casos, la concentración de soluto puede medirse mediante un colorímetro o un espectrofotómetro y expresarse en función de unidades arbitrarias de intensidad de color, siempre y cuando la escala de color utilizada varíe linealmente con las concentraciones de soluto que causa las variaciones de color.¹⁰

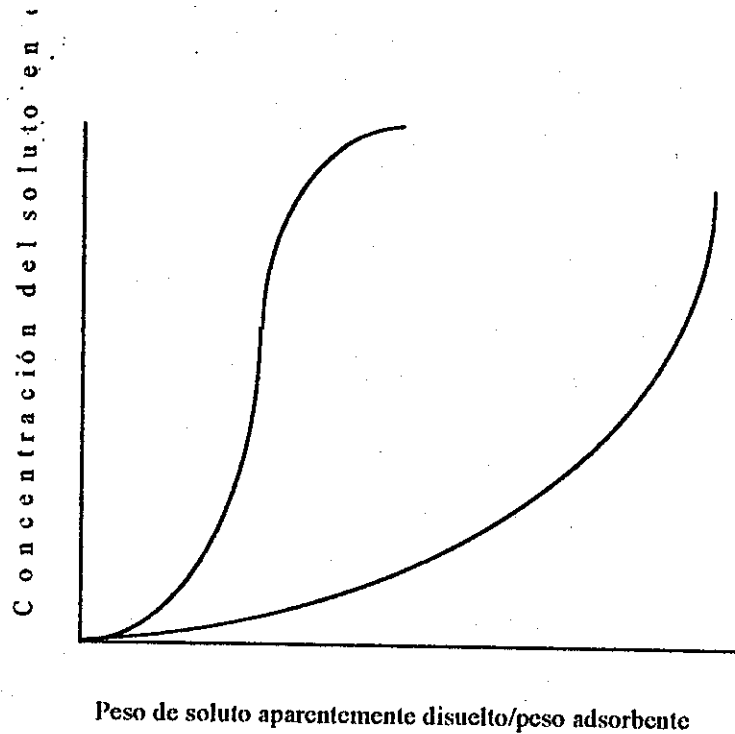


Figura No. 2 Isotermas de adsorción típicas para soluciones diluidas

¹⁰ Lee, M. N. Y. y I. Zwiebel: Adsorption Technology

2. JUSTIFICACIÓN

Los distintos tipos de azúcar disponible en el medio guatemalteco, generalmente no cumplen con todas las características técnicas que un azúcar requiere para ser utilizado en la industria de bebidas carbonatadas. Las impurezas que se derivan del trato impropio e incompleto en las refinerías de azúcar, afectan directamente la calidad de las bebidas carbonatadas. Al no cumplir, el azúcar, con las características técnicas establecidas por esta industria, es necesario recurrir, dentro de la planta de embotellado a operaciones adicionales con el propósito de lograr un nivel de purificación del azúcar aceptable. El conjunto de éstas operaciones adicionales requeridas se enmarcan dentro de lo que se conoce en esta industria como el proceso de clarificación. Desafortunadamente, el proceso de cristalización a partir de una de solución de sacarosa pura, que es el proceso de purificación de mayor rendimiento utilizado en las refinerías de azúcar, es impráctico en una planta de embotellado.

Las refinerías de azúcar que operan en el país distribuyen, al mercado nacional, básicamente cuatro tipos de azúcar, el azúcar refinado, el super refino, el estándar y morena. Además, las regulaciones legales de la nación no permiten que el ingreso de azúcar extranjero sea factible, por lo que únicamente los tipos de azúcar descritos anteriormente se encuentran disponibles en nuestro medio.

En las embotelladoras existentes en el medio guatemalteco, el proceso de clarificación se ha convertido en un requisito, independientemente del tipo de azúcar que se utilice dentro del proceso. El tipo de azúcar utilizado en esta industria es el de tipo refinado.

El presente trabajo de tesis buscó establecer y recomendar la utilización de azúcar tipo estándar en la fabricación de bebidas carbonatadas a nivel nacional, basándose en un análisis económico costo/beneficio con enfoque en el proceso de clarificación de jarabe simple con carbón activado.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar información experimental útil para mejorar económicamente el proceso de clarificación de azúcar con carbón activado en la industria de embotellado, sin la introducción de consideraciones técnicas adicionales.

3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Establecer el tipo de azúcar, de entre los disponibles en el mercado y que potencialmente utiliza la industria de embotellado, con el que se obtienen beneficios económicos mayores, en el proceso de clarificación de azúcar con carbón activado, sin descuidar los aspectos requeridos de calidad, en la industria de embotellado.

4. HIPÓTESIS

Económicamente es más rentable la utilización de azúcar tipo estándar que el azúcar tipo refinada en el proceso de fabricación de bebidas carbonatadas.

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la actualidad, las bebidas carbonatadas se embotellan de acuerdo con exigentes criterios y modernas técnicas de producción y control de calidad en mas de 3,500 plantas alrededor del mundo.

Para mantener los elevados criterios de producción en las empresas embotelladoras de Coca-Cola, es indispensable la utilización de azúcar de buena calidad. Y esto solo se consigue mediante un proceso completo de refinación de azúcar. Si la calidad del azúcar obtenible no se ajusta a las especificaciones requeridas, el azúcar debe de ser tratado, o clarificado en la planta, durante la elaboración del jarabe Simple. A este tratamiento de clarificación se le conoce como Tratamiento en caliente con carbón activado.

Los tipos o clases de azúcar que se utilizaron en la prueba (azúcar estándar y azúcar refinada) presentaron un cierto nivel de impurezas por encima de las especificaciones técnicas requeridas por el embotellador (un valor de RBU de no mayor de 100), ya que en todas las disoluciones de azúcar realizadas el valor de RBU fue superior a 100¹¹, se requirió del proceso de clarificación.

Tal y como se especificó en la sección de metodología, se realizaron 3 corridas de tratamiento en caliente con carbón activado por tipo de azúcar utilizado, siendo un total de 6 corridas. En la prueba únicamente se consideró este número de corridas debido al alto coste que cada una representa (entre Q 44,000.00 - Q 47,000) y la cantidad de producto terminado potencial que se genera en cada una de ellas (aproximadamente 15,000 cajas de 24 botellas de 12 onzas cada una).

El tratamiento numérico utilizado para los distintos datos experimentales se fundamento en el promedio, no se realizó algún análisis estadístico sobre los datos experimentales debido al limitado número de corridas.

El tratamiento con carbón activado desde el punto de vista económico (Coste de producción) involucra una serie de recursos que pueden, para fines de análisis, ser segmentados y/o categorizados de la siguiente forma:

- Coste de clarificación
- Coste eléctrico
- Coste de filtración
- Coste de vapor
- Coste de azúcar
- Coste de impurezas

¹¹ Sección Datos Experimentales, Tablas 4 y 6

COSTE DE CLARIFICACIÓN:

En este segmento se analizó el grado de recurso involucrado en la clarificación necesaria en el proceso de clarificación de azúcar, para las distintas corridas realizadas. Este recurso para el proceso en estudio, se integra principalmente por la cantidad de carbón activado requerido en el proceso. El carbón activado es requerido en el tanque de tratamiento o tanque de cocimiento. En las pruebas prácticas se evaluó la cantidad de carbón activado, para luego, determinar el coste de este recurso.

En el coste de clarificación, tal y como puede verse en el anexo 2 tabla No.7. El proceso de clarificación de azúcar, utilizando azúcar tipo estándar, es en promedio Q. 606.00 (120lbs.) más que si se utilizara azúcar refinada en el proceso, La diferencia de consumo de carbón activado al utilizar los dos tipos de azúcar estudiados, se debe principalmente al mayor grado de impurezas presentes en el azúcar tipo estándar que deben ser eliminadas para satisfacer con las normas técnicas que requiere la industria de embotellado. Este grado de impurezas que presenta un azúcar, se determinó basado en el RBU de la disolución inicial de azúcar - Agua Tratada.

Toda solución de jarabe simple se calentó a 80 °C por un lapso de 30 minutos, para luego tomar la lectura de RBU iniciales, en base a los valores de RBU obtenidos se determinó si la corrida en función debía de pasar por un proceso de clarificación, basado en los datos experimentales¹², todas las corridas, sin excepción, presentaban valores de RBU iniciales mayores que los permisibles regidas por las normas técnicas de la industria de embotellado, por lo que la clarificación se dio para todas las corridas. Las disoluciones preparadas con Azúcar tipo refinada presentaron valores de RBU menores que los presentados por las disoluciones preparadas a partir de azúcar estándar, tal y como se esperaba.

El coste de clarificación o coste de remoción de impurezas dependió de la cantidad de carbón activado utilizado en el proceso. La cantidad de carbón activado utilizado, se determino, basándose en el valor de RBU inicial. A mayor valor de RBU, mayor cantidad de carbón activado requerida. Ver tabla No.16¹³ Durante la etapa de clarificación, se presenta el fenómeno de adsorción, cuyo actor principal esta protagonizado por el carbón activado, que adsorbiendo las impurezas presentes logra disminuir el valor de RBU de la solución Azúcar-Agua Tratada. Aunque el presente estudio no se enfocó a determinar directamente el grado o nivel de adsorción del carbón activado, si se pueden tener una idea clara de su comportamiento o tendencia, Ver Sección de Datos Experimentales, Tablas No. 4 y 6.

¹² Ver Sección Datos Experimentales, Tablas No. 4 y 6.

¹³ Ver Sección Datos Experimentales, Tablas No. 4 y 6.

COSTE ELÉCTRICO:

En este segmento se analizó el grado de recurso eléctrico necesario para hacer efectivo el proceso de clarificación de azúcar, en las distintas corridas realizadas. El recurso eléctrico, para el proceso en estudio, se integra principalmente por la energía eléctrica que se es utilizada, los consumidores de este tipo de energía están representados por todos los motores que se utilizan (10 motores), siendo estos, genéricamente: motores de agitación, motores de bombas, ventiladores y compresores. En las pruebas prácticas se evaluó el tiempo que cada uno de los motores involucrados estuvo en funcionamiento, para luego, determinar el consumo eléctrico por corrida y de este a su vez el coste de este recurso.

En el coste eléctrico, tal y como puede verse en el anexo 2 tabla No. 8. El proceso de clarificación de azúcar, utilizando azúcar tipo estándar, consume en promedio 15 Kw-hr más que si se utilizara azúcar refinada en el proceso, esto representa a su vez una diferencia de Q 5.75 por corrida. La diferencia de consumo del recurso energía eléctrica en el proceso al utilizar los dos tipos de azúcar estudiados, se debe principalmente a la mayor resistencia que se presenta en la filtración de Jarabe-Simple preparado a partir de azúcar estándar. Esta mayor resistencia es creada por la cantidad de carbón activado y cantidad de Filtro-ayuda que requiere la clarificación de Jarabe-Simple, cuando este proviene de azúcar tipo estándar, en comparación con la cantidad de carbón y ayuda-filtro adicionada al proceso de clarificación utilizando azúcar tipo refinada (ver Sección Datos Experimentales, Tablas No. 4 y 6) Esta mayor cantidad de carbón activado y filtro-ayuda requerida en las corridas con azúcar tipo estándar originan una torta de mayor espesor en el filtro Sparkler, (situación que se verifica luego de cada corrida, en la etapa de limpieza, por la cantidad de lodos que se extraen del filtro; y además por la caída de presión que se presenta en el filtro Sparkler), dificultando el proceso de clarificación y dando como resultado un mayor tiempo de filtración, que se traduce en mayor consumo de energía eléctrica.

COSTE DE FILTRACIÓN:

En este segmento se analizó el grado de recurso involucrado en la formación de la pre-capa necesaria para la etapa de filtración en el proceso de clarificación de azúcar, para las distintas corridas realizadas. Este recurso para el proceso en estudio, se integra principalmente por la cantidad de filtro-ayuda requerido en el proceso. El filtro-ayuda es requerido tanto en el tanque pre-capa, como en el tanque de tratamiento o tanque de cocimiento. En las pruebas prácticas se evaluó la cantidad de filtro-ayuda en el proceso, para luego, determinar el coste de este recurso.

En el coste de filtración, tal y como puede verse en el anexo 2 tabla No. 9. El

proceso de clarificación de azúcar, utilizando azúcar tipo estándar, es en promedio Q 186.00 (120 libras) más que si se utilizara azúcar refinada en el proceso. La diferencia de consumo del ayuda filtro al utilizar los dos tipos de azúcar estudiados, se debe principalmente a que la cantidad de ayuda-filtro que se adiciona en el tanque de cocimiento depende en relación proporcional a la cantidad de carbón activado adicionado, y para las corridas que fueron trabajadas con azúcar tipo estándar en promedio se requirió mayor cantidad de carbón activado en comparación con las corridas en las que se utilizó azúcar tipo estándar. La cantidad de filtro-ayuda adicionada en el tanque pre-capa es, por procedimiento, la misma, independiente del tipo de azúcar que se utilice. La razón fundamental de la utilización de filtro-ayuda, es que el carbón activado por si solo, causaría una caída de presión demasiado grande en el filtro Sparkler, debido a la obstrucción de áreas de la torta de filtración.

COSTE DE VAPOR:

En este segmento se analizó el grado de recurso Vapor necesario para hacer efectivo el proceso de clarificación de azúcar, en las distintas corridas realizadas. El recurso vapor, para el proceso en estudio, se integra principalmente por la energía calorífica que es utilizada en la etapa de calentamiento, los consumidores de este tipo de energía están representados por el tanque de cocimiento o tanque de preparación. En las pruebas prácticas se evaluó la cantidad de energía calorífica requerida en cada corrida, representada por la cantidad de combustible (Bunker) necesario en la caldera que genera tal cantidad de energía calorífica. Se asumió una pérdida de energía calorífica de 40%, ocasionada por radiación y convección en el sistema de: tuberías, Marmitas, Válvulas, Fugas y Mala transferencia de calor de vapor al sistema. Así como una eficiencia de combustión de 70% y una eficiencia de caldera de 70%.

En el coste de vapor, tal y como puede verse en el anexo 2 tabla No.10. El proceso de clarificación de azúcar, utilizando azúcar tipo estándar, no consume en promedio mayor cantidad de vapor que si se utilizara azúcar refinada en el proceso. La no diferencia que se presenta se debe a que el proceso de calentamiento involucra, para ambas situaciones, las mismas cantidades de azúcar y agua, que representan el mayor porcentaje del gasto calorífico. Las diferentes cantidades de carbón activado y ayuda filtro que se utilizan en las distintas corridas, no reflejaron un gasto calorífico importante. Fundamentado en sus diferenciales cantidades en comparación con la cantidad de agua y azúcar, y además en sus pequeñas Capacidades caloríficas.¹⁴

¹⁴ Hassler, J.W.: Purification with Activated Carbono, Chemical Pub. Co.; NY, 1974.

COSTE DE AZÚCAR:

Las diferencias en este rubro, entre los dos tipos de azúcar se basan en las condiciones del mercado y las políticas de precios que los proveedores azucareros establecen. Presentado hoy una diferencia de Q 11.41 por quintal.

COSTE DE IMPUREZAS:

En este segmento se analizó el grado de recurso desperdiciado debido a las impurezas presentes en los tipos de azúcares estudiados. Tal y como se mencionó anteriormente las impurezas presentes en los azúcares son: polisacáridos, cenizas, melazas y humedad. El diferente contenido de estas impurezas en los azúcares, es la que los diferencia en estándar y refinada. Con el fin de poder comparar, bajo una misma base ambos tipos de azúcar y los jarabes simples que dieron origen, se contabilizaron las impurezas como pérdidas de azúcar. De esta forma es factible comparar los rendimientos de las distintas corridas de clarificación de azúcar.

Las corridas que se realizaron con azúcar estándar presentaron en promedio 350 lbs de impurezas más que las reportas en la corridas con azúcar tipo refinada. Esto represento en promedio una diferencia de Q 487.00.

	AZÚCAR ESTANDAR	AZÚCAR REFINADA
COSTE ELÉCTRICO	Q. 76.57	Q. 70.83
COSTE DE VAPOR	Q. 253.44	Q. 253.44
COSTE DE CLARIFICACIÓN	Q. 757.50	Q. 151.50
COSTE DE FILTRACIÓN	Q. 387.50	Q. 201.50
COSTE DE IMPUREZAS	Q. 562.97	Q. 75.89
COSTE DE AZÚCAR	Q. 42,228.00	Q. 45,651.00
COSTE TOTAL	Q. 44,228.98	Q. 46,404.16

Tabla No. 2 Comparación de costes

Al analizar la segmentación comparativa de los costes incurridos en el proceso de clarificación de azúcar utilizando carbón activado. Se presenta un mayor coste de procesamiento al utilizar azúcar tipo estándar en comparación con el coste al utilizar azúcar tipo refinada, Ver sección de Resultados. Este coste de procesamiento se encuentra integrado por: coste de clarificación, coste de filtración, coste de vapor, coste de azúcar y coste de impurezas.

Si bien el coste de procesamiento, es mayor cuando el tratamiento de jarabe simple se utiliza azúcar tipo estándar, su respectivo coste de azúcar es, en comparación mucho menor que el coste involucrado en el proceso utilizando azúcar tipo refinada. La diferencia de coste de azúcar respecto al coste de procesamiento encontrado, entre los azúcares estudiados es, en términos de recurso monetario, 2.66 veces mayor el coste de azúcar. Esta diferencia monetaria que se presenta en el coste de azúcar, absorbe y sobrepasa la diferencia que se presenta en el coste de procesamiento, constituyendo la opción de la utilización de azúcar tipo estándar en el proceso de clarificación de azúcar, económicamente mas rentable. Esta diferencia en mención es debida principalmente al rango de precios que se tiene en el mercado los azúcares en mención.

En la segmentación de costes, ver tabla No. 2, se presenta una análisis de variación entre los azúcares en estudio, tomando como base el azúcar, se observa que las variaciones porcentuales se tienen en los rubros de coste de impurezas y coste de clarificación. Tal y como se mencionó anteriormente el coste de impurezas se encuentra representado por polisacáridos, cenizas, melazas y humedad, el contenido de impurezas es en si la característica que mejor diferencia los tipos de azúcar estudiados. El coste de clarificación se basa en el recurso incurrido en el uso de carbón activado en todo el proceso de clarificación. Ambos porcentajes resultan positivos indicando que, por la base utilizada, la utilización de azúcar tipo refinada, en el proceso de clarificación, representa la inversión de menor cantidad de recursos en estos rubros.

El análisis representado en la tabla No. 2, indica que el coste total, presentó una variación negativa, esto indica que la utilización de azúcar estándar, incurre en la inversión de menor cantidad de recursos. Esta cantidad de ahorro de recursos por lote es de alrededor de Q 2,138.00 y tomando como base que el embotellador tiene una media de producción anual de 610 lotes, el ahorro de recursos es bastante significativo, tal y como se muestra en la sección de resultados.

SENSIBILIDAD

Para que la ventaja comparativa que presenta el azúcar estándar, respecto a la azúcar tipo refinada, en el proceso de clarificación de azúcar, desaparezca, la diferencia de precios entre ambos tipo de azúcares debe de ser de no más de Q 4.29 por quintal.

7. CONCLUSIONES

- La utilización de azúcar tipo estándar en el proceso de clarificación de azúcar, en la industria de embotellado, representa un ahorro importante de recursos, en comparación con la utilización de azúcar tipo refinado.
- Aunque el coste de procesamiento, al utilizar azúcar tipo estándar en el proceso de clarificación de azúcar, es casi el triple que el coste si se utilizará azúcar tipo refinada, no influye en forma determinante al coste comparativo total del proceso.
- El costo de azúcar y su diferencia comparativa entre los tipos de azúcar estudiados, son los factores que determinan el costo del proceso de clarificación de azúcar.
- La utilización de azúcar tipo estándar en el proceso de clarificación de azúcar, no introduce consideraciones técnicas adicionales y cumple con los aspectos de calidad de la industria de embotellado.

8. RECOMENDACIONES

En las condiciones actuales de mercado, con el fin de mejorar la productividad del proceso global de embotellado de refrescos carbonatados, es conveniente la utilización de azúcar tipo estándar.

9.1 ANEXO 1: DATOS EXPERIMENTALES

CORRIDAS UTILIZANDO AZUCAR ESTANDAR

Corrida	Libras Azúcar	Litros Agua	Litros Jarabe-Simple	Brix Jarabe-Simple	Litros Empuje
1	30,000	9,000	17,180	60,40	6200
2	30,000	9,000	17,000	60,9	6000
3	30,000	9,000	17,120	60,8	6000

Tabla No. 3

Corridas	Brix Empuje	RBU Inicial	Carbon Activado Adicionado	Tiempo a Filtración	RBU Final
1	6,8	275	40%	150	84
2	7,10	341	55%	150	51
3	8,1	322	55%	150	58

Tabla No. 4

CORRIDAS UTILIZANDO AZUCAR REFINADA

Corrida	Libras Azúcar	Litros Agua	Litros Jarabe-Simple	Brix Jarabe-Simple	Litros Empuje
1	30,000	9,000	17,100	61,90	6000
2	30,000	9,000	17,000	61,70	6000
3	30,000	9,000	17,050	61,50	6000

Tabla No. 5

Corridas	Brix Empuje	RBU Inicial	Carbon Activado Adicionado	Tiempo a Filtración	RBU Final
1	6,1	108	10%	135	55
2	7,50	107	10%	140	59
3	7,8	112	10%	137	48

Tabla No. 6

9.2 ANEXO 2: RESULTADOS PARCIALES

COSTE DE CLARIFICACION

CORRIDA	AZUCAR ESTANDAR	AZUCAR REFINADA
1	Q. 606,00	Q. 151,50
2	Q. 833,25	Q. 151,50
3	Q. 833,25	Q. 151,50
PROMEDIO	Q. 757,50	Q 151,50

Tabla No. 7

COSTE ELECTRICO (Q)

CORRIDA	AZUCAR ESTANDAR	AZUCAR REFINADA
1	Q. 74.95	Q. 70.08
2	Q. 78.20	Q. 71.70
3	Q. 76.57	Q. 70.73
PROMEDIO	Q. 76.57	Q 70.83

Tabla No. 8

COSTE DE FILTRACION (Q)

CORRIDA	AZUCAR ESTANDAR	AZUCAR REFINADA
1	Q. 341,00	Q. 210,50
2	Q. 410,75	Q. 210,50
3	Q. 410,75	Q. 210,50
PROMEDIO	Q. 387,50	Q 210,50

Tabla No. 9

COSTE DE VAPOR (Q)

CORRIDA	AZUCAR ESTANDAR	AZUCAR REFINADA
1	Q. 253.44	Q. 253.44
2	Q. 253.44	Q. 253.44
3	Q. 253.44	Q. 253.44
PROMEDIO	Q. 253.44	Q 253.44

Tabla No. 10

COSTES DE IMPUREZAS (Q)

CORRIDA	AZUCAR ESTANDAR	AZUCAR REFINADA
1	Q 645,72	Q 12,80
2	Q 724,00	Q 131,05
3	Q 319,20	Q 83,82
PROMEDIO	Q. 562,97	Q 75,84

Tabla No. 11

RENDIMIENTOS (%)

CORRIDA	AZUCAR ESTANDAR	AZUCAR REFINADA
1	98,47	99,97
2	98,29	99,71
3	99,24	99,82
PROMEDIO	98,67	99,83

Tabla No. 12

9.3 ANEXO 3: METODOLOGÍA

9.3.1 LOCALIZACIÓN

La parte experimental del presente estudio se llevará a cabo en las siguientes instalaciones:

- **Salón de jarabes, Embotelladora Central, S.A., Ciudad de Guatemala**

9.3.2 MATERIALES Y EQUIPO

MATERIAL

- Azúcar estándar
- Azúcar refinada
- Agua tratada
- Carbón activado, tipo Filtrosorb 200, marca Calgon.
- Tierras diatomáceas, tipo Hyflo Supercel, marca Celite.

EQUIPO

- Tanque enchaquetado
- Filtro Pre-capa, marca Sparkler
- Tanque Pre-capa, marca Sparkler
- Tanque Recibidor
- Filtro duplex marca Triclover
- Bomba Triclover 216
- Balanza tipo Toledo
- Espectrofotómetro, modelo Espectronic 20, marca Bausch & Lomb
- Hidrómetro
- Probeta de 500ml.
- Termómetro
- Beakers

9.3.3 CÁLCULO DE MUESTRA

Para cada corrida se realizarán los siguientes cálculos:

DEFINICIÓN DE VARIABLES:

VARIABLE	DESCRIPCION DE VARIABLE	DIMENSIONALES
CA	Cantidad de azúcar	Masa
CC	Cantidad de carbón activado	Masa
CF	Cantidad de filtro - ayuda	Masa
PA	Precio de azúcar	Uni. monetarias/Uni. masa
PC	Precio de carbón activado	Uni. monetarias/Uni. masa
PF	Precio de filtro - ayuda	Uni. monetarias/Uni. masa
CE	Costo eléctrico	Unidades monetarias
CT	Costo total del proceso	Unidades monetarias
BU	Bunquer utilizado	Volumen
Q1	Calor requerido en calentamiento de agua	Energía
Q2	Calor utilizado en disolución de azúcar	Energía
Q3	Calor para mantener 80 °C jarabe simple	Energía
QT	Calor total requerido	Energía
QR	Calor real requerido	Energía
TF	Tiempo de filtración	Unidades de tiempo
T1	Tiempo de carga de azúcar	Unidades de tiempo
T2	Tiempo de agitación, tanque preparación	Unidades de tiempo
T3	Tiempo bomba	Unidades de tiempo
T4	Tiempo de agitación, tanque pre-capa	Unidades de tiempo
T5	Tiempo de agitación, tanque recibidor	Unidades de tiempo
T6	Tiempo bomba torre de enfriamiento	Unidades de tiempo
T7	Tiempo motor 1, ventilador Torre	Unidades de tiempo
T8	Tiempo motor 2, ventilador Torre	Unidades de tiempo
T9	Tiempo motor Chiller	Unidades de tiempo
T10	Tiempo compresor Chiller	Unidades de tiempo
TF	Tiempo de filtración	Unidades de tiempo
CVT	Costo total de Vapor	Unidades monetarias

Tabla No. 13

DEFINICION DE CONSTANTES

CONSTANTE	DEFINICION DE CONSTANTE	DIMENSIONALES
M1	Motor elevador-cangilones	Potencia
M2	Motor agitador tanque preparación	Potencia
M3	Motor de la bomba	Potencia
M4	Motor agitador tanque pre-capa	Potencia
M5	Motor agitador tanque recibidor	Potencia
M6	Motor bomba torre de enfriamiento	Potencia
M7	Motor ventilador 1 torre de enfriamiento	Potencia
M8	Motor ventilador 2 torre de enfriamiento	Potencia
M9	Motor de bomba Chiller	Potencia
M10	Compresor de Chiller	Potencia
TC	Tiempo calentamiento de agua a 60°C	Unidades de tiempo
TR	Tiempo de recirculación /jarabe simple/	Unidades de tiempo
TM	Tiempo de calentamiento a 80 °C	Unidades de tiempo
TP	Tiempo de formación de pre-capa	Unidades de tiempo
TA	Tiempo de agitación /formación pre-capa/	Unidades de tiempo
EL	Costo energía eléctrica	Uni. monetarias/energía
CB	Costo de Bunquer	Uni. monetarias/uni. Vol.

Tabla No. 14

NOTA:

TODA ESTA SECCIÓN SE FUNDAMENTA EN LA CORRIDA No. 1 CON AZÚCAR TIPO ESTANDAR.

COSTO ELÉCTRICO:

El consumo de energía eléctrica utilizada en el proceso de preparación de jarabe simple.

Se tiene:

M1: 15 hp	M6: 7.5 hp
M2: 15 hp	M7: 10 hp
M3: 7.5 hp	M8: 10 hp
M4: 3.0 hp	M9: 7.5 hp
M5: 7.5 hp	M10: 3.0 hp

TC = 30 min.	TF = 150 min.
TR = 45 min.	TP = 15 min.
TM = 30 min.	TA = 30 min.

$$\begin{aligned}T1 &= 120 \text{ minutos} \\T2 &= TC + TF + T1 + TM + TR = 30 + 150 + 120 + 30 + 45 = 375 \text{ min.} \\T3 &= TF + TP + TR = 150 + 15 + 45 = 210 \text{ min.} \\T4 &= TA = 30 \text{ min.} \\T5 &= TF - 30 \text{ min.} = 150 - 30 = 120 \text{ min.} \\T6 &= TF = 150 \text{ min.} \\T7 &= TF = 150 \text{ min.} \\T8 &= TF = 150 \text{ min.} \\T9 &= TF = 150 \text{ min.} \\T10 &= TF = 150 \text{ min.}\end{aligned}$$

$$CE = (15*120 + 15*375 + 7.5*210 + 3.0*30 + 7.5*120 + 7.5*150 + 10*150 + 10*150 + 7.5*150 + 3.0*150)$$

$$= 15,690 \text{ hp-min} * \frac{0.746 \text{ Kw}}{1 \text{ hp}} * \frac{1 \text{ hr.}}{60 \text{ min}} = 195.079 \text{ Kw-hr}$$

$$CE = 195.079 \text{ Kw-hr} * \frac{0.34 \text{ quetzales}}{\text{Kw-hr}} = Q 66.33$$

Tasa Municipal = 13%

$$CE = Q 66.33 * 1.13 = Q 74.95$$

COSTO ELÉCTRICO

$$CE = Q 74.95$$

COSTO DE VAPOR: (Cuarto de Calderas)

El consumo de energía del vapor utilizada en la preparación se divide en:

- Calor requerido en calentamiento del agua.
- Calor utilizado en la disolución de azúcar.
- Calor utilizado para mantener la temperatura a 80 °C.

A) Calor requerido en calentamiento de agua

Volumen de agua = 9,000 lts

Temperatura Inicial = 25 °C.

Temperatura Final = 60 °C.

Cp Agua = $\frac{1 \text{ Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$

$$Q1 = m * Cp * dt$$

$$= 9000 \text{ lts} * \frac{1 \text{ kg}}{1 \text{ lt}} * \frac{1 \text{ Kcal}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} * (60 - 25) ^\circ\text{C}.$$

$$= 315,000 \text{ Kcal}$$

B) Calor utilizado en disolución de azúcar

Azúcar = 30,000 lbs.

Temperatura Inicial = 60 °C.

Temperatura Final = 80 °C.

Agua = 9000 lts

Cp Jarabe-Simple = $\frac{0.9 \text{ Btu}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}}$ (Jarabe Simple con °Brix entre 60-70)¹⁵

Masa total Solución = Masa Agua + Masa Azúcar

$$\text{Masa de Agua} = 9,000 \text{ lts.} * \frac{1 \text{ Kg}}{1 \text{ lt}} = 9,000 \text{ Kg}$$

$$\text{Masa total Solución} = 9,000 \text{ kg} + 30,000 \text{ lbs} * \frac{1 \text{ Kg}}{2.2 \text{ lbs.}}$$

$$= 22,636 \text{ kg}$$

¹⁵ Manual de Producción, Tablas de Azúcar, Sección F-12, Coca Cola Company

$$Q2 = m * Cp * dt$$

$$= 22,636 \text{ Kg} * \frac{0.9 \text{ Btu}}{\text{lbs. } ^\circ\text{F}} * \frac{1 \text{ Kcal}}{3.969 \text{ Btu}} * \frac{2.2 \text{ lbs}}{1 \text{ Kg}} * 20 \text{ } ^\circ\text{C} * \frac{1.8 \text{ } ^\circ\text{F}}{1 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$= 406,530 \text{ Kcal}$$

C) Calor utilizado para mantener la temperatura a 80 °C, durante la filtración

Masa solución = 22,636 Kg

Temperatura Final = 80 °C

Temperatura Inicial = T_{in} = 47.3 °C

$$Q3 = m * Cp * dt$$

$$= 22,636 \text{ Kg} * \frac{0.9 \text{ Btu}}{\text{lbs. } ^\circ\text{F}} * \frac{1 \text{ Kcal}}{3.969 \text{ Btu}} * \frac{2.2 \text{ lbs}}{1 \text{ Kg}} * 10.5 \text{ } ^\circ\text{C} * \frac{1.8 \text{ } ^\circ\text{F}}{1 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$= 213,425 \text{ Kcal}$$

D) Calor total requerido

$$QT = Q1 + Q2 + Q3$$

$$= 315,000 \text{ Kcal} + 406,530 \text{ Kcal} + 213,425 \text{ Kcal}$$

$$= 934,955 \text{ Kcal}$$

F) Cálculo de calor incluyendo pérdidas

Considerando pérdidas ocasionadas por radiación y convección en el sistema de:

Tuberías

Marmitas

Válvulas

Fugas

Mala transferencia de calor de vapor al sistema

Se toma un factor de pérdida de 40%.

El calor real es:

$$\begin{aligned} QR &= QT * 1.40 \\ &= 934,955 \text{ Kcal} * 1.40 = 1,308,937 \text{ Kcal} \end{aligned}$$

G) Vapor requerido

Vapor saturado a 15 psig (29 psia)
Entalpía = 293.27 Kcal/lb

$$\begin{aligned} \text{Vapor Requerido} &= 1,308,937 \text{ Kcal} * \frac{1 \text{ lbs.}}{293.3 \text{ Kcal}} \\ &= 4463 \text{ lbs} \end{aligned}$$

H) Combustible requerido

Bunker No. 6 = 144,000 Btu/gl
Eficiencia de Caldera = 70 %
Perdidas de Calor = 10 %
Eficiencia de Combustión = 70%
Costo de bunker = Q 3.13 / gl

Consumo de Bunker:

$$\begin{aligned} &= 1,308,937 \text{ Kcal} * \frac{1 \text{ galón.}}{144,000 \text{ Btu}} * \frac{3.968 \text{ Btu}}{1 \text{ Kcal}} * 1.1 * \frac{1}{0.7} * \frac{1}{0.7} \\ &= 80.97 \text{ gl} \end{aligned}$$

Costo Bunker = Costo Total de Vapor

$$CVT = 80.97 \text{ gl} * \frac{Q 3.13}{\text{gl}} = Q 253.44$$

COSTO DE VAPOR

Q 253.44

COSTO CLARIFICACIÓN:

A) Carbón activado

Cantidad carbón activado:

CC = Cantidad de Azúcar * % Carbón Activado (Según tabla No. 1)

$$CC = 30,000 \text{ lbs.} * 0.004 = 120 \text{ lbs.}$$

Costo carbón activado:

Costo = Cantidad Carbón Activado * Precio Carbón Activado

$$\text{Costo} = 120 \text{ lbs.} * \frac{Q \ 5.05}{1 \text{ lbs.}} = Q \ 606.00$$

COSTO CLARIFICACIÓN

Q 606.00

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

COSTO FILTRACIÓN:

A) Filtro - ayuda

Cantidad filtro - ayuda:

CF = Cantidad filtro-ayuda en tanque de tratamiento + cantidad filtro-ayuda en tanque pre-capa.

$$CF = 120 \text{ lbs.} + 100 \text{ lbs.} = 220 \text{ lbs.}$$

Costo filtro - ayuda:

Costo: Cantidad filtro-ayuda * Precio filtro-ayuda

$$\text{Costo: } 220 \text{ lbs.} * \frac{Q \ 1.55}{1 \text{ lbs.}} = Q \ 341.00$$

COSTO FILTRACIÓN:

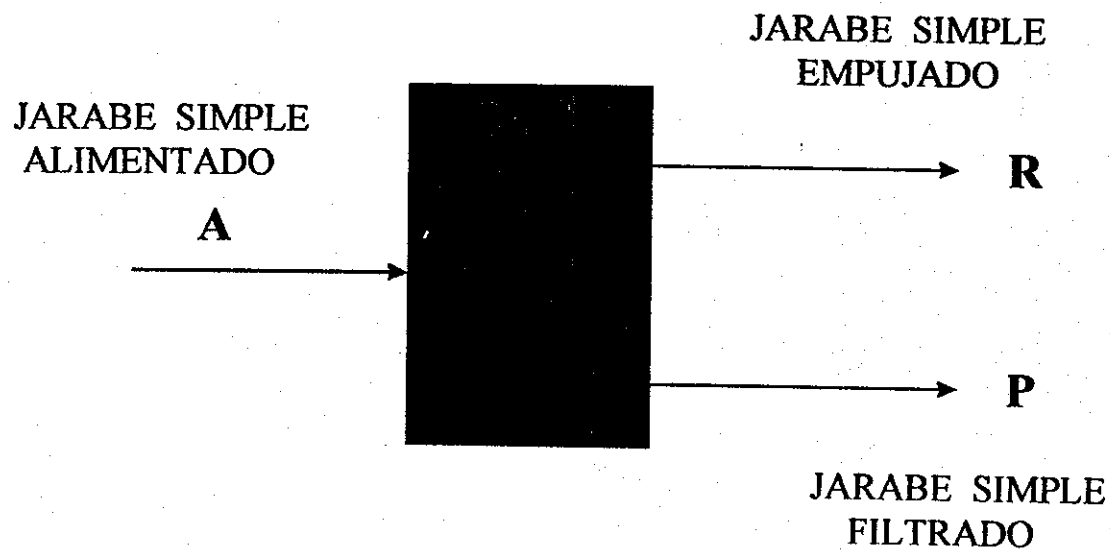
Q 341.00

COSTO DE AZÚCAR:

Costo de Azúcar = Cantidad de Azúcar * Precio de azúcar

$$\text{Costo de Azúcar} = 30,000 \text{ lbs} * \frac{Q \ 140.76}{1 \text{ qq}} * \frac{1 \text{ qq}}{100 \text{ lbs}} = Q \ 42,228.00$$

BALANCE DE MASA (AZÚCAR):



**AZÚCAR QUE ENTRA = AZÚCAR QUE SALE +
IMPUREZAS**

Azúcar que entra "A" = 30,000 lbs.

Azúcar que sale = Azúcar en Jarabe Simple Filtrado "P" +
Azúcar en Jarabe Simple Empujado "R"

"P" = °Brix * Peso Solución

Peso Solución = Volumen de solución * Densidad de Solución

Densidad de Solución = En base al valor °Brix¹⁶

Densidad de Solución a 60.4 °Brix = 1.253 gr/ml

¹⁶ Manual de Producción, Tablas de Azúcar, Sección B-150, Coca-Cola Company

$$\text{Peso Solución} = 17,180 \text{ lts} * 1.253 \text{ Kg/Lt}$$

$$"P" = 60.40 * 21,526.54 \text{ Kg}$$

$$= 13,002.03 \text{ kg} * \frac{2.2 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} = 28604.47 \text{ lbs.}$$

$$"R" = \text{°Brix} * \text{Peso Solución}$$

$$\text{Peso Solución} = \text{Volumen de solución} * \text{Densidad de Solución}$$

$$\text{Densidad de Solución} = \text{En base al valor °Brix}$$

$$\text{Densidad de Solución a } 6.80 \text{ °Brix} = 1.012 \text{ gr/ml}$$

$$\text{Peso Solución} = 6,200 \text{ lts} * 1.012 \text{ Kg/Lt.}$$

$$\text{Peso Solución} = 6262 \text{ Kg}$$

$$"R" = 6.80 * 6262 \text{ Kg}$$

$$= 425.82 \text{ kg} * \frac{2.2 \text{ lbs.}}{1 \text{ Kg}} = 936.80 \text{ lbs.}$$

$$\text{Azúcar que sale} = "P" + "R"$$

$$= 28,604.47 \text{ Lbs.} + 936.80 \text{ Lbs}$$

$$= 29,541.26 \text{ lbs.}$$

Rendimiento

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Azúcar en Jarabe Filtrado "P"}}{\text{Azúcar que entra "A"}} * 100$$

$$= \frac{29,541.26 \text{ lbs.}}{30,000 \text{ lbs}} * 100 = 98.47 \%$$

Impurezas

Impurezas = azúcar que entra - azúcar que sale

$$= 30,000 \text{ lbs} - 29,541.26 \text{ lbs}$$

$$= 458.74 \text{ lbs}$$

$$\% \text{ Impurezas} = \frac{\text{Impurezas}}{\text{Azúcar que entra "A"}}$$

$$= \frac{458.74 \text{ lbs}}{30,000 \text{ lbs}} * 100 = 1.53 \%$$

Coste de impurezas

$$458.74 \text{ lbs.} * \frac{Q 1.4076}{1 \text{ lb}} = Q 645.72$$

COSTO TOTAL DEL PROCESO

**CT = Costo eléctrico + Costo de vapor + Costo de clarificación + Costo de
filtración + Coste azúcar + Coste de impurezas**

**CT = Q 74.95 + Q 253.44 + Q 606.00 + Q 341.00 + Q 42,228.00
+ Q 645.72**

CT = Q 44,149.11

DESCRIPCIÓN	COSTE
COSTE ELÉCTRICO	Q. 70.83
COSTE DE VAPOR	Q. 253.44
COSTE DE CLARIFICACIÓN	Q. 151.50
COSTE DE FILTRACIÓN	Q. 201.50
COSTE DE IMPUREZAS	Q. 75.89
COSTE DE AZÚCAR	Q. 45,651.00
COSTE TOTAL	Q. 46,404.16

Tabla No. 15

9.3.4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental caracteriza el modelo general del proceso de clarificación de azúcar en una refinería de jarabe simple, tanto para azúcar refinada como para azúcar estándar.

Definición de variables

El proceso se puede caracterizar definiendo las variables de entrada, variables de salida, los factores controlables, los factores incontrolables y las variables respuesta, como sigue:

- **Variables de entrada**

1. Azúcar
2. Carbón
3. Filtro - ayuda
4. Agua tratada
5. Vapor
6. Energía eléctrica

- **Variables de salida**

1. Jarabe simple
2. Lodos de filtro pre-capa
3. Agua condensada

- **Factores Controlables**

1. Cantidad de azúcar
2. Cantidad de carbón
3. Cantidad de filtro - ayuda
4. Cantidad de agua
5. Cantidad de vapor
6. Cantidad de energía eléctrica
7. Cantidad de jarabe simple
8. Cantidad de lodos
9. Cantidad de agua condensada
10. Temperatura
11. Grado de agitación
12. Tiempo de filtración

- **Factores incontrolables**

1. Variables inherentes en las propiedades de las sustancias
2. Falta de uniformidad en la conducción física del experimento (cuyo efecto es parcialmente controlable a través de un adecuado diseño experimental)

- **Variables respuesta**

1. El RBU
2. BRIX
3. Litros de Jarabe Simple Filtrado

El proceso general del proceso se presenta por medio del siguiente diagramático, Diagrama No. 2.

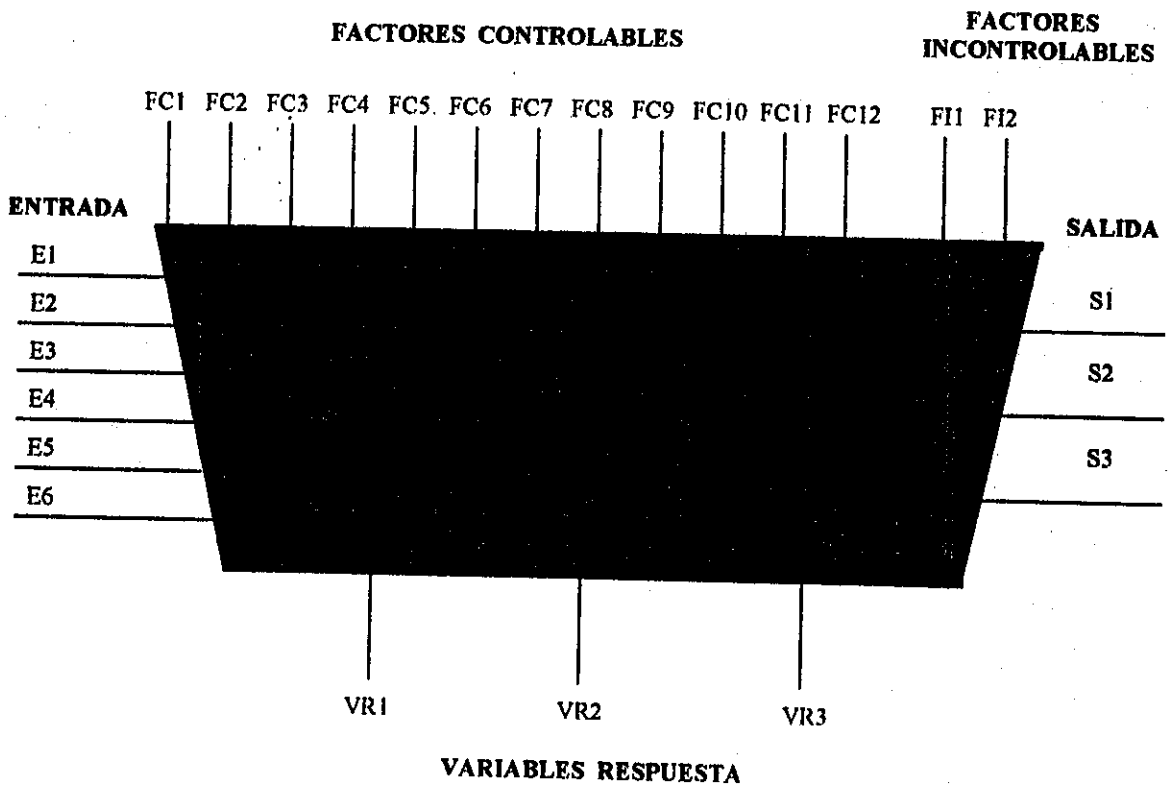


DIAGRAMA No. 2

PROCESO DE LA UNIDAD DE SAN RAMÓN 52

Donde:

- E1: Tipo de azúcar
- E2: Cantidad de carbón activado
- E3: Cantidad filtro - ayuda
- E4: Cantidad de agua tratada
- E5: Cantidad de vapor
- E6: Cantidad de energía eléctrica
- S1: Cantidad de jarabe simple
- S2: Cantidad de lodos de filtro pre-capas
- S3: Cantidad de agua condensada
- FC1: Cantidad de azúcar
- FC2: Temperatura
- FC3: Grado de agitación
- FC4: Cantidad de agua tratada
- FC5: Cantidad de vapor
- FC6: Cantidad de energía eléctrica
- FC7: Cantidad de jarabe simple
- FC8: Cantidad de lodos
- FC9: Cantidad de agua condensada
- FC10: Cantidad de carbón activado
- FC11: Cantidad filtro - ayuda
- FC12: Tiempo de filtración
- FI1: Variables inherentes en las propiedades de las sustancias
- FI2: Falta de uniformidad en la conducción física del experimento (cuyo efecto es parcialmente controlable a través de un adecuado diseño experimental)
- VR1: RBU
- VR2: BRIX
- VR3: Litros de jarabe simple filtrado

De manera similar al proceso general, el proceso particular cuenta con los mismos flujos de entrada y de salida, los mismos factores controlables e incontrolables y las mismas variables respuesta; con la única diferencia de que el modelo particular se mantienen constantes los valores de ciertos factores controlables sobre los cuales se basa el estudio. A continuación se presentan los factores controlables que se mantendrán fijos y los factores controlables que se mantendrán variables.

Factores controlables fijos

1. Cantidad de azúcar
2. Temperatura
3. Grado de agitación

Factores controlables variables

1. Cantidad de carbón
2. Cantidad de filtro - ayuda
3. Cantidad de agua
4. Cantidad de vapor
5. Cantidad de energía eléctrica
6. Cantidad de jarabe simple
7. Cantidad de lodos
8. Cantidad de agua condensada
9. Tiempo de filtración

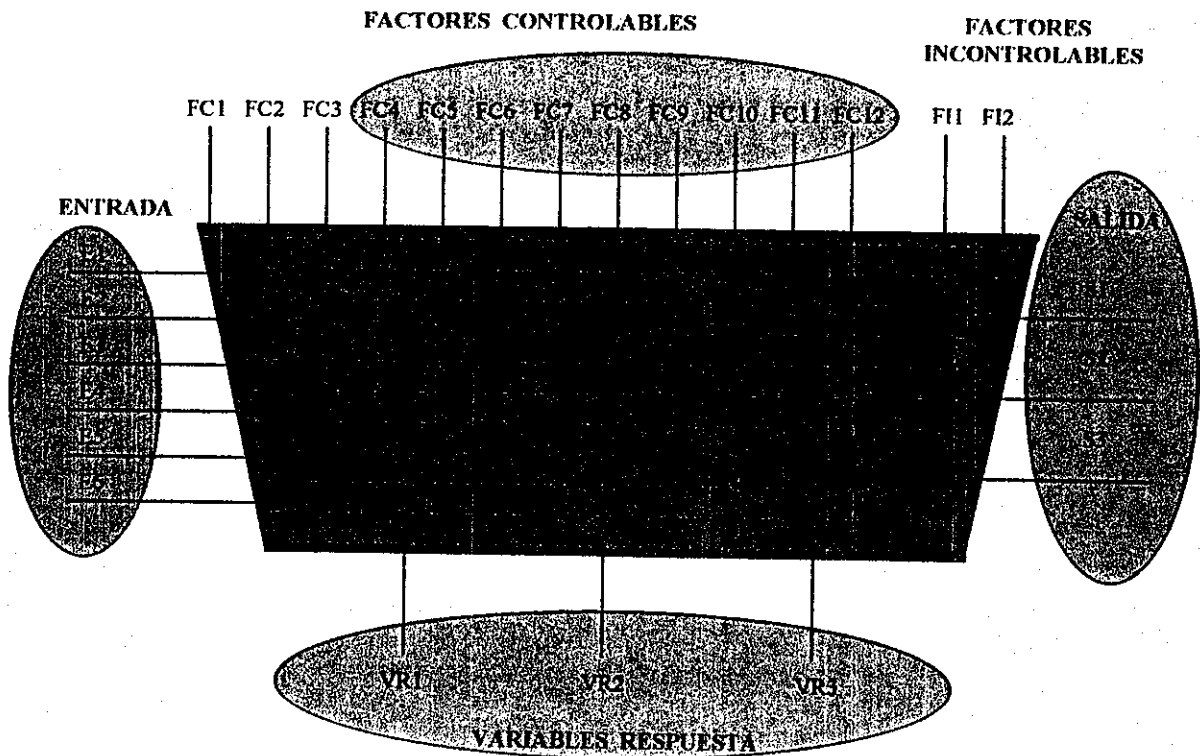


DIAGRAMA No. 3

**Las elipses grises encierran el área de estudio del presente trabajo de tesis.

DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

- Se trabajará con dos tipos de azúcar: azúcar refinada y azúcar estándar.
- Se harán tres corridas con cada tipo de azúcar, cada corrida representa aproximadamente 15,000 cajas de producto final (cajas de 24 botellas de 12 onzas cada una).
- Se disolverá el azúcar y se verificará si la mezcla agua tratada - azúcar necesita carbón activado (Según lectura de RBU) y si necesita se le adicionará la cantidad de carbón activado requerida, según tabla No. 1.
- Se analizará el RBU al final del proceso

9.3.5 MANEJO DEL EXPERIMENTO

PROCEDIMIENTO

El procedimiento del proceso en caliente de clarificación de azúcar con carbón activado es el siguientes:

1. Agregar al tanque de tratamiento la cantidad de agua tratada requerida.
2. Calentar el agua del tanque de tratamiento a una temperatura de 60°C.
3. Iniciar la agitación en el tanque de tratamiento, y paralelamente realizar la tara de la cantidad de azúcar a disolver.
4. Adicionar al tanque de tratamiento la cantidad de azúcar pesado en el paso anterior.
5. Calentar la solución de agua tratada-azúcar (Jarabe Simple) hasta alcanzar una temperatura de 80°C.
6. Medir el RBU de la solución Agua Tratada-azúcar.
7. Con el agitador en funcionamiento, agregar carbón activado al jarabe Simple caliente, según la tabla No. 16.
8. Dejar que la solución de azúcar entre en contacto con el carbón activado por un lapso de 30 minutos.
NOTA: La temperatura debe permanecer constante durante este lapso de tiempo.
9. Paralelamente al paso anterior, adicionar, al tanque pre-capas, 1000 lts. de agua tratada y se agregar 100 lbs. de filtro-ayuda.
10. Gradualmente abrir la válvula de salida del tanque pre-capas y permitir que la mezcla agua-tratada/filtro-ayuda fluya por gravedad a través del filtro pre-capas.
11. Arrancar la bomba.
12. Dejar que la mezcla agua-tratada/Filtro-ayuda recircule a través del filtro pre-capas y el tanque pre-capas, hasta que la totalidad del filtro ayuda haya sido retenido en el filtro pre-

capa. El final de esta operación de recirculación se indica cuando la apariencia de la mezcla en función se torna clara.

13. Agregar, con el agitador trabajado, solución de filtro-ayuda al tanque de tratamiento en una cantidad igual a la cantidad agregada de carbón activado en el paso 7 de este procedimiento.
14. Cuando la operación descrita en el paso 12 haya concluido, cambiar el flujo de recirculación establecido a través del tanque pre-capa por y hacia el tanque de tratamiento que contiene la mezcla Jarabe Simple-Carbón Activado, sin interrumpir el flujo por el filtro pre-capa. El flujo continuo es esencial durante esta operación.
15. Dejar que la mezcla Jarabe Simple-Carbón Activado recircule a través del filtro pre-capa y el tanque de tratamiento, hasta que la totalidad del carbón activado haya sido retenido en el filtro pre-capa. El final de esta operación de recirculación se indica cuando la apariencia de la mezcla en función se torna clara. (Jarabe Simple cristalino)
16. Medir el BRIX y el RBU, y corroborar que cada valor se encuentre en el rango de las especificaciones. Si alguno de los valores no cumplen con las especificaciones, eliminar la corrida.
17. Una vez la solución filtrada es clara, dirigir el flujo hacia el tanque receptor. Se debe tener cuidado de no interrumpir el flujo por el filtro.
18. Verificar el nivel de la solución en el tanque de tratamiento, cuando dicho nivel este por alcanzar las aspas del agitador, apagar el agitador.
19. Agregar 2000 litros de agua tratada al tanque de tratamiento, cuando esta agua se encuentre saliendo a través del filtro pre-capa, redireccionar el flujo hacia el tanque de tratamiento.
20. Todo el jarabe simple debe ser enfriado, por medio de un intercambiador de calor de placas antes de llegar al tanque receptor, a una temperatura de 25°C.
21. Leer los volúmenes de jarabe simple fabricados.
22. Medir el RBU, BRIX, temperatura del jarabe simple fabricado.
23. Realizar pruebas organolépticas (olor y sabor) al jarabe simple fabricado.

RBU DE AZÚCAR**% DE CARBON ACTIVADO**

0 - 100	10 %
101 - 150	20 %
151 - 200	30 %
201 - 300	40 %
301 - 450	55 %
451 - 700	115 %
701 - +++	NO ES POSIBLE TRATAR

Tabla No. 16

GLOSARIO

Carbón activado.

Carbón cuyo poder adsorbsivo ha sido incrementado por tratamientos especiales. Es utilizado para remover colores, sabores y olores que posee el jarabe simple preparado de azúcar de calidades inferiores al estándar.

Grados Brix.

Grados de una escala hidrométrica ampliamente utilizado en la medición de la gravedad específica de las soluciones de azúcar. Esta escala fue desarrollada por el científico alemán Adolph Brix, se gradúa para que la lectura represente el porcentaje en peso de sacarosa en la solución.

Concentrado o base de bebida.

Es una mezcla íntima de sabores, acidulantes y material coloridos que producen las empresas de Bebidas Carbonatadas y sus subsidiarias. Se empaican como simples o múltiples unidades y pueden componerse de un número variado de partes. El concentrado o base de bebidas se agrega al jarabe simple para preparar el jarabe compuesto que su utiliza en la manufactura de las bebidas finales.

Filtro ayuda.

Es un material celuloso o de tierras diatomáceas que se utiliza como el medio de filtración. Las tierras diatomáceas, también llamadas "kieselguhr" son restos de animales fósiles o de diminutas algas marinas con gran contenido de sílice. Se halla en grandes cantidades en muchas partes del mundo.

Filtro prensa.

Es equipo utilizado para retener el papel filtro o la almohadilla del filtro que se usa en la filtración del jarabe simple. Puede estar en un plano vertical u horizontal.

Filtración.

El proceso de separación de sólidos presentes en un medio líquido, por medio de un ente poroso por el que se hace atravesar la solución.

Jarabe compuesto.

El término jarabe compuesto se usa describir una mezcla homogénea de jarabe simple y concentrado o base de bebida.

Pasivación.

Tratamiento a que es sometida una superficie con el objetivo de disminuir su capacidad de reactiva y corrosiva. El acero inoxidable es frecuentemente "pasivado" para prevenir posibles reacciones con los ingredientes de las bebidas.

Jarabe simple.

Es la solución de azúcar y agua tratada luego del proceso de filtración y antes de la adición de concentrado. Esta solución se prepara a partir de sacarosa granulada, sacarosa líquida, azúcares tipo HFSS-42 o HFSS55 (High Fructose Starch-Derived Syrup), azúcar invertido, o una mezcla de estos azúcares.

REFERENCIAS

Lee, M. N. Y. y I. Zwiebel; **Adsorption technology**; AICHE Symp. Ser., 67(117); foreword (1971).

Clark, A.: **The theory of adsorption and catalysis**; academic Press; NY, 1970.

Gregg, S. J. y K. S. W. Sing: **Adsorption, surface Area, and porosity**; Academic Press; NY, 1967.

Hassler, J.W.: **Purification with activated carbono**, Chemical Pub. Co.; NY, 1974.

Ponic, V., Z. Knor y S. Černý: **Adsorption on solids**; Trad. Por D. Smith y N.G. Adams, Buttersworth; Londres, 1974.

Treybal, R. E.: **Operaciones de transferencia de masa**; Trad. Por Rodríguez A. y Lozano J., Rhode Island, 1988.

Zapata, J.: **Manual Práctico de bebidas para la industria de refrescos - Filtración de jarabe simple-**, Chicago, 1970.

Alvarenga, B. y Máximo A.: **Física general**; México, 1988.

McCabe W., Smith J.: **Operaciones básicas de ingeniería química**, Madrid, 1991